

東北大学電気通信研究所研究活動報告 第5号(1998年度)

著者	東北大学電気通信研究所
雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	5
ページ	1a-198
発行年	1999-07
URL	http://hdl.handle.net/10097/30289

第 1 章 緒 言

緒 言

大学附置研究所の意義

東北大学等旧帝国大学をはじめとして研究大学が標榜されている。この研究大学を構成する主要組織は大学院研究科と附置研究所からなっている。附置研究所は大学院研究科とは協力講座としての協力関係にあるものの、それとは異った使命をもつ組織であることは当然である。即ち、大学院研究科は、その研究が大学院教育を実施するために設けられた専門分野の方向に沿って行なわれ、本質的には教育組織であるのに対して、研究所は、その研究が研究所の設置目的の方向に沿って行なわれる研究組織である。

大学附置研究所の第一の特徴は、大学院研究科の各講座が担当するカリキュラムに関連する専門分野に比して、附置研究所の設置目的は一般により具体的に且つ広がりを持って設定されていることから生まれる。研究所の全所員が同一の設置目的のもとにその実現のために研究するので、比較的研究者間の障壁が低く自然発生的な共同研究が生まれ易い。また設置目的が広がりを持っていることから、研究の途上で新しい発見があった時にその発見を活かした新研究分野の開拓を比較的容易に行うことができる。新研究分野の開拓は大学附置研究所の重要な使命の一つである。

第二の特徴は大学附置研究所の置かれている環境条件に伴う利点である。大学内部に設置された研究所の研究者はそうでない国立研究所などに比して、学生・院生および他分野の研究者と講義・講演会・研究会等を通じて交流しやすい環境条件の中にある。この特徴を活かし大学内の他分野の研究者との共同研究による新研究分野の開拓が自然に行われるとともに、若い世代に研究の深さと重要性を直接伝えることにより、未来を切り開く研究者の育成と、学際化による新しい研究分野開拓ができる利点がある。

以上は附置研究所のあり方の一般論であるが、電気通信研究所は歴史的に工学研究科と情報科学研究科の電気情報系組織と強い関係で結ばれお互いに発展してきており、一般論を単純に適用することは避けなければならない。お互いの特徴を活かしながら適切な人事交流により強い協力関係を維持することが最善であると考えらる。

5月26日には学術審議会から「科学技術創造立国を目指す我が国の学術研究の総合的推進について一知的存在感の在る国を目指して」（中間まとめ）が出された。ここでは、大学附置研究所の問題点としては、1）附置研究所の役割と使命 2）附置研究所と学部・大学院との関係がきびしく論じられ、役割と使命を失っている場合の廃止・転換も示唆されている。今後の方策として、研究組織の柔軟な編

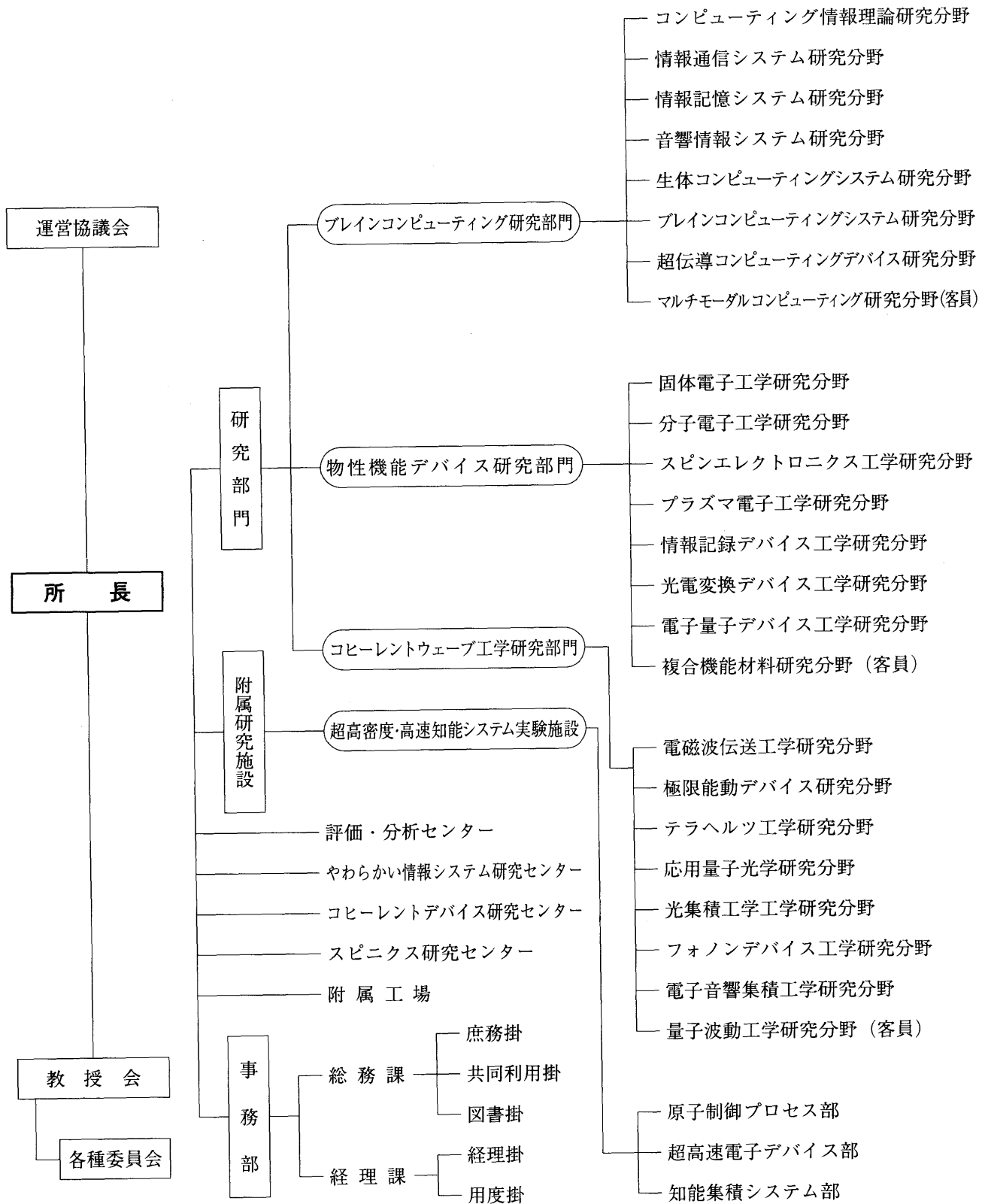
成、研究機関間の関係・協力の強化、研究者の流動性の促進の三点に整理できるとしている。電気通信研究所の教授会はこれらの点に関する議論を2年前から進めており、具体策を検討する段階である。

本研究活動報告書は、従来のスタイルを踏襲しているが、近い将来、附置研究所の研究活動とその成果が大学院研究科及び国立研究所のそれと定性的に異なるものであることを示すことができるようになれば附置研究所の存在意義を主張するためには喜ばしいことであると考ええる。

電気通信研究所長
沢 田 康 次

第 2 章 組織・運営

2.1 組織図



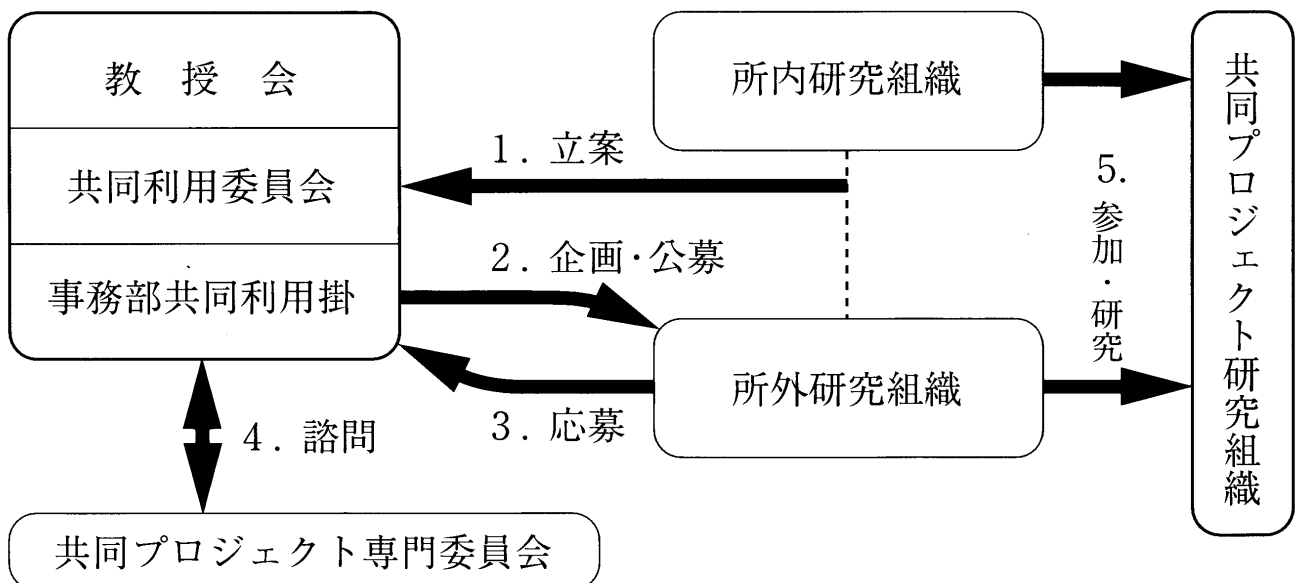
2.2 共同研究組織

本研究所は平成6年に国立大学附置の共同利用研究所に改組され、全国で唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、半導体プロセス技術、デバイス試作技術、ウルトラクリーン基盤技術など国内外に例を見ない技術を有していた「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」としてさらに設備を充実して発足した。実験施設ではこれらの技術を発展させると共に大規模知能システムの先導的研究開発を目指すことになった。

本研究所の各分野・実験施設の各部の充実により、情報通信に関する研究環境が一層整備されつつある。これを背景として、本研究所の各研究分野・部の研究者は研究所の目的達成のための基礎研究に加えて、全国の情報通信の科学技術の研究に携わる研究者と有機的な連携を取りながら、本研究所を中核とする総合的な共同研究プロジェクト研究を行っている。

共同プロジェクト研究の研究組織は次のような手続きを経て構成される。まず毎年所内の研究組織が研究者の英知を集めるために所内外から広くご意見を戴き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同利用委員会」が審査し、課題を企画する。この課題は「事務部共同利用掛」より全国の国公立大学及び研究機関に通知され、各共同プロジェクト研究への参加者を公募する。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「共同プロジェクト専門委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案が承認し、実行に移される。

運営協議会は、本研究所の「共同プロジェクト研究」に関する運営の大綱について所長の諮問に応じて審議する。



2.3 教育組織

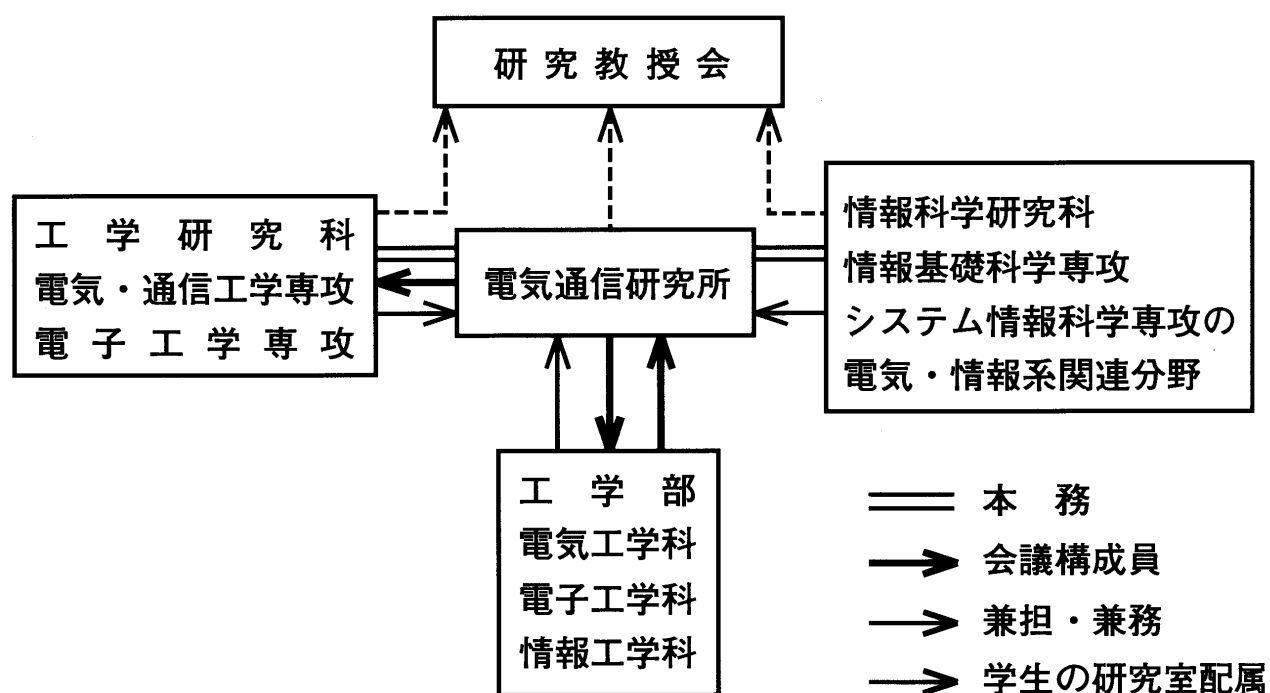
東北大学電気通信研究所（以下、通研と略称）は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学専攻、情報工学科が順次設立されたが、「一体運営」の協力関係は維持された。

現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す教育組織がある。大学院重点化に伴い、通研教官と大学院の関係は兼任から兼務へ変わり、情報科学研究科が本務の教官は工学研究科を兼任することになった。その結果、1998年度は、通研の22研究分野のうち6研究分野が工学研究科電気・通信工学専攻に、11研究分野が電子工学専攻に、1研究分野が情報科学研究科基礎情報科学専攻に、4研究分野がシステム情報科学専攻に所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は200名、一研究室当たり平均9.1名に達した。

通研と電気・情報系学科の関係で特徴的な点は、全教官が兼務として互いに協力し合っていることである。通研の教授・助教授は全員、学部学生に対する講義を担当し、助手は実験を指導して教育に協力している。一方、電気・情報系の教官が通研兼務であるので、学部学生が通研の各研究室に配属される。学生にとって選択の幅が広がり、余裕のある研究指導が受けられる。一方、通研にとっても若い行動力は魅力があり、後継者発掘の機会も多くなる。通研が電気通信の分野で多くの成果を挙げてきた背景には、このような教育面での協力関係があった。

通研と電気・情報系の中核に、両組織の教授で構成される研究教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項はここで審議される。教育上の具体的な事項の実行、運用に関しては、大学院に主任会議、電気・情報系4学科に教務委員会があり、通研からも委員が参加している。

通研は工学研究科、情報科学研究科の関連分野と協力体制をとり、研究のみならず教育でもCOEとしての責務をはたしている。



第 3 章 研究活動

3.1 ブレインコンピューティング研究部門の目標と成果

バリアー通信の中で重要な要素の一つである高次コミュニケーションの実現を目指して、現在の計算機のソフトウェアのエージェントを導入し「ひとにやさしいネットワーク」を開発する研究と、人の脳に似た機能を持つ計算機の実現によりさらにコミュニケーションの高次化を図る研究をブレインコンピューティング部門を中心におこなっている。

人に優しいネットワークの実現に向けて、人間とコンピュータが共生する情報システムとしてやさしいコンピューティングの概念を提唱し、基本となるエージェント指向プログラミング環境を開発し、言語仕様、開発環境、利用環境を著しく改良した。応用例として開発した、やさしいビデオ会議システムはネットワークやワークステーションのネットワーク負荷の変化を自律的に吸収するのでシステムが柔軟かつ安定的に動作し、これからのネットワークを担うものとして期待される。

人の脳に似た機能を持つ計算機の実現によりさらにコミュニケーションの高次化を図るために、脳の機能を理工学的に解明・実現するための研究を行った。それには図のように視覚・聴覚・運動・記憶・言語・思考を研究しなければならないが、ブレインコンピューティング部門では当初の目標としてその基礎であり鳥でも持っている機能として、視覚・聴覚・運動・記憶を中心にその機構の解明とそのハードウェア化の実現をめざして、3次元立体視・音源定位・昆虫歩行・シンボル記憶・高速学習アルゴリズムなど実現し、それとともに新アナログニューロチップ、電子神経細胞、電子記憶デバイス、歩行昆虫ロボットなどの製作に成功し着々と鳥程度の脳機能の実現に研究を進めている。現在のところ鳥の脳機能の情報原理の解明とそれに基づくハードウェアの研究が進み、おおよそその達成度は当初の目標に対しては約50%と考えられる。

一方、この研究の過程で、無限定な外部環境に生物が対応して脳機能を十分に発揮するための本質的に重要な要素は、大量の記憶を瞬時に読み出して外部環境の変化に先立った予測を行い、情報を能動的に獲得することであることが明らかになった。このために現在進めているブレインコンピューティング部門の研究とは別に図の脳皮質を中心とした人の固有の機能である予測・計画・言語・記憶の統合・編集などの機能を集中的に且つ総合的に研究することが不可欠であるとの認識を持つにいたった。国家的な研究の推進を図る体制を作ることが緊急な課題である。

1) ブレインコンピューティングに関する研究

①実世界における認識と制御の情報原理の解明

生命システムにおける環境の認識や運動の制御は、予測不可能に変化する実世界で行われる。このような定義不可能な無限定問題に対し、生命システムは、環境との間の適切な関係を自律的に作り出し、環境に応じて限定して認識や制御を行っている。システムに自律性を持たせるには、拘束条件を自ら作り出す「仮設発想」の論理が必要であり、i)いかに「仮設発想」を行うか、ii)仮設という拘束条件下で如何にシステムを制御するか、を解明しなければならない。本年度は、i)については視覚認識問題からアプローチを図り、述語論理を用いると解決できることを見いだした。脳における視覚認識のように全体を反映した部分情報が幾つかあれば、完全な情報が無くても全体を仮設できる。一方ii)については、自己言及性を用いた逆問題を解く方法論を開発することであり、歩行運動制御の問題を取り上げた。システムの目的を非定常な外界の変化に合わせて如何に制御するかという逆問題である。歩行速度や方向などの目的が設定されたとき、変動する負荷に合わせて最適なgait workを生成する歩行制御について調べ、実世界において運動制御を最適に行うためにシステムが満足すべき条件を明らかにした。

②ブレインコンピュータのアーキテクチャに関する研究

ブレインコンピュータのアーキテクチャを構築するために以下の学術研究を行った。

1) 現実の細胞集団として、培養神経細胞ネットワークの活動パターンの実験研究や細胞の移動に関するNMR測定等の生物物理的研究、2) 複雑な脳の構造と機能に数理的に迫るための複雑系の研究、3) ニューラルネットワークによる時系列学習能力と新しい高速学習アルゴリズム、4) シンボル細胞を活用した先

読み能力を持つネットワークアーキテクチャの構成、5) 実験施設と共同研究によるリミットサイクルマシンの製作。6) 脳のすず手六としての特徴である主体性や意識に関する理論的研究。

- 1) はマウスの培養神経細胞が自己組織するネットワークの活動パターンを共焦点顕微鏡で観察し、発火パターンのクラスター解析を行ったもの。
- 2) は複雑さの極限構造を流体実験によって解明したもの。
- 3) はパターンの学習に関する高階微分を含む局所情報を学習規則に取り入れて学習の高速化を行ったもの。
- 4) は脳の基本的に重要な性質を能動的情報処理と考えそれを実現するアーキテクチャを構成したもの。
- 5) は時系列記憶の実現のために非対称ネットワーク埋め込んだリミットサイクルの性質を調べ集積化したもの。
- 6) は神経細胞のうえにたったボトムアップ的数理的研究とともに、トップダウン的でマクロな理論構築の必要性和可能性を明らかにしたもの。

③超伝導を利用した高速・低消費電力・超高密度電子デバイスとシステムの研究

超伝導演算デバイスによる大規模・高密度・高速コンピュータシステム、および超伝導体磁気センサによる脳機能の解明や脳障害の診断のための超高感度磁気計測システムの実現を目指して研究を進め、以下の成果を得た。まず、超高感度テラヘルツ検出デバイスとして期待される高温超伝導粒界型ジョセフソン接合素子を、低誘電率でテラヘルツ帯で低損失なシリコン単結晶基板上に作製することに成功し、70kの高温まで2.525THzに応答可能であることを確認した。また他に、ランタン系薄膜において初めて固有ジョセフソン効果の発現を観測、SrO-Bi₂O₃-CaO-CuO系において110Kに転移温度(T_c)をもつ高温相の合成条件を確立、シリコンイオン注入法による固有ジョセフソン接合プロセスが従来の物理加工法に遜色ないことの確認、などの成果も得た。

④テラビット情報ストレージシステムの研究

膨大な情報を一時あるいは半永久的に蓄積できる情報ストレージデバイスやシステムの高密度・大容量・高速化は、大規模情報システムの開発と普及を促す。情報記憶システム研究分野では、記録密度を格段に引き上げる垂直磁化方式用の磁気ディスクや磁気ヘッドの研究を進めている物性機能デバイス研究部門情報記録デバイス工学研究分野と連携し、垂直記録用デバイスを100ギガバイト級以上の小型HDDとしてシステム化する研究、これを用いる映像用超大容量大規模ストレージシステムを構築する研究、を行っている。本年度は、3次元シミュレーションにより平方インチ当たり100ギガビット（現用HDDの20倍）以上の高密度化の可能性を確認し、実験的にはエラーレート評価装置を試作して垂直磁化方式の長手磁化に対する実用的な優位性を初めて確認した。さらに一層の性能改善を図って、高次パーシャルレスポンス信号処理方式の最適化などを進めている。

2) ヒューマンインターフェイスに関する研究

①Flexible Computing に基づいた情報通信システムの研究

コンピュータと人間と共生する Flexible Computing に基づいた情報システムの構成論を確立することを目指し、エージェント指向プログラミング環境を開発して、ネットワーク上に秘書エージェントなど多彩なエージェントと人間とが共生する空間(サイバースペース)を構築する研究を進めている。本年度は、この設計開発を効果的に支援するエージェント指向システム開発環境(ADIPS97フレームワーク)の実装法を改良し、また、やわらかいネットワークのプロトタイプである「やわらかいビデオ会議システム」の構成要素となるエージェントのアーキテクチャを拡張するなどして有効性を確認した。さらに研究活動などのオフィスワークを対象としたエージェントによる支援機構とその実現法について検討し、実現可能性を確かめた。また既存のソフトウェア群を対象とした次世代分散システムの設計開発を支援するエージェント化機構、個人向けヒューマンインターフェイスの設計支援機構や評価手法についても成果を得た。

②高次音響情報通信システムの研究

通信路の両端に人間がいる場合、聴覚が大きな役割を果たすため、聴覚系の情報処理過程を明らかにし、高度な音響通信システムや快適な音環境を実現することを目指した研究を行っている。聴覚情報処理過程

の解明に対しては、聴覚の時間領域モデルの構築、ラウドネス知覚の研究、3次元音空間知覚過程などの研究により、高調波間の位相差による域値の変化やそれに伴う音色の変化が説明できるようになった。また複数の音の距離定位について、絶対判断では知覚距離弁別が難しい距離でも相対判断で距離の弁別が可能であること、聴取者の動きで音空間知覚の精度が改善され、その度合いには強い周波数依存性があること、視覚におけるポップアウト現象と同様な現象が聴覚でも狭帯域雑音で見られること、なども明らかになった。また、高度な音響情報システムの実現を目指した3次元音場の物理的特性の解析により、測定の困難な全立体角にわたる頭部伝達関数がコンピュータで完全に求められるようになり、さらに、次世代のデジタル補聴器への適用を目指した両耳ラウドネス補償アルゴリズムの開発や信号処理法の研究、音に映像を付加した場合の環境音知覚に及ぼす視覚情報の影響の調査、などにも一定の成果を得た。

③大気リモートセンシング画像パターンニング用ミリ波サブミリ波超伝導検出器の研究

高温超伝導単結晶を用いて液体ヘリウム温度（-269℃）で作動する単電子トンネル素子を実現した。従来のジョセフソン集積回路はサイズの大きな磁束量子を基礎としていたため、素子サイズの大きさが最大の弱点であったが、超伝導単結晶素子はサブミクロン平方の大きさであり、超伝導単結晶単電子トランジスタやメモリの大集積回路化が期待できる。

情報通信システム研究分野

「Flexible Computing」に基づいた
情報通信システムの研究

1. 分野の目標

当研究室では、1992年より、人間とコンピュータが共生する情報システムへ向けて、次世代の情報処理の基本となる「Flexible Computing」の概念を創成し提唱している。情報通信を含めこれまでの情報処理は、コンピュータに代表されるように合理性（効率、機能、経済性）を評価基準として発達してきた。その結果、富と豊かさの獲得に成功したが、環境破壊や人間喪失など失ったものも多い。これをモダン情報システムと呼ぶ。このような、モダンの限界を越える21世紀へ向けたポストモダンとは何か。本研究では、ポストモダンの基本的な考え方として、「Flexible Computing」を提唱している。この概念は、モダンの長所を生かし、失ったものを取り戻し、人類と自然が調和しながら発展するための考え方であり、モダンに「共生」を加えた考え方に基づいている。ここで、共生とは、人間と機械（コンピュータ、ネットワーク、ロボット、…）がそれぞれの長所を生かしつつ、緊張と対立を含みながら協調・調和することである。

本研究の目的は、このような「Flexible Computing」に基づいた人間とコンピュータが共生する情報システムの構成論を確立することである。現在のコンピュータや情報ネットワークは、前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供する、いわゆる「堅い」システムである。このようなシステムでは、ユーザが操作法を少しでも誤ると正しく動作しない。また、使用法を熟知した専門家を対象とし、利用者層が限定されている。国内外で話題となっている情報ハイウェイやインターネットも堅いシステムである。本研究の目的は、上述のような現在の堅いシステムの限界に対してブレークスルーをもたらす新しい考え方として、Flexible Computing に基づいたやわらかい情報システムの基本概念を創成し、さらにこれに基づくモデルを構築し、その系統的な構成論を確立することである。具体的には、世界に先駆けてエージェント指向プログラミング環境を開発し、これを用いてネットワーク上に、人間と秘書エージェントなど多彩なエージェントが共生する空間（サイバースペース）を構築する。このよ

うなシステムでは、ユーザの利用法が変化あるいは誤った場合、また故障などによりシステム内に変化が生じた場合でも、システム自身が自律的に変化しユーザが必要とする環境を提供することができる。このような人間指向のやわらかい情報システムの構成問題は次の3つの副問題に分割でき、それぞれについて今年度の成果を要約する。

2. 過去1年間(98年4月から99年3月まで)の主な成果

(1)やわらかい情報システム

(a)エージェント指向コンピューティング基盤

ネットワーク環境で構築されるやわらかい情報システムの設計開発を効果的に支援するエージェント指向システム開発環境（ADIPS97フレームワーク）の実装法を改良した。

(b)やわらかいネットワーク

やわらかいネットワークのプロトタイプである「やわらかいビデオ会議システム」の構成要素となるエージェントのアーキテクチャを拡張し、分散環境における利用者要求の変化を的確に検出し、より柔軟なエージェント間協調が可能となる機構を導入し、プロトタイプ試作によりその有効性を確認した。

(c)共生空間

やわらかいネットワークをベースとして構築されるネットワーク社会のモデルである共生空間の概念に基づいて、研究活動などのオフィスワークを対象としたエージェントによる支援機構とその実現法について検討し、プロトタイプの部分試作により、その実現可能性を確認した。

(2)次世代分散システムのやわらかい設計手法

高度なネットワークシステムや分散システムの設計開発を効果的に支援するために、既存のソフトウェア群を対象としたエージェント化機構に関する研究を行った。そして、Java のコンポーネントやWindowsアプリケーションなどを対象としたエージェント化機構やその配送機構の部分試作を行い、当該機構の有効性を確認した。

(3) マルチメディアヒューマンインタフェース

やわらかい情報システムとその利用者（人間）との高度なインタフェースの設計開発を支援するために、個人向けヒューマンインタフェースの設計支援機構を提案し、そのプロトタイプを試作して有効性を検証した。また、個々の利用者のシステム利用要求の視点から設計結果として得られたヒューマンインタフェースの評価を行う手法を提案し、実験により本手法の有効性を確認した。

3. 職員名

教授：白鳥 則郎（1993年より）

助教授：木下 哲男（1996年より）

助手：菅沼 拓夫，杉浦茂樹

秘書：工藤裕子

4. 教授のプロフィール

1946年 宮城県生れ

1977年 東北大学大学院博士課程修了

1984年 東北大学助教授（電気通信研究所）

1990年 東北大学教授（工学部情報工学科）

1993年 東北大学教授（電気通信研究所）

1997年 IEEE Fellow

昭和47年より現在まで、主としてコンピュータネットワークの研究に従事。初期はネットワークの性能評価を行い、昭和52年よりプロトコルの仕様化環境、昭和60年より通信ソフトウェアやヒューマンインタフェースの研究に従事。平成4年に人間とコンピュータが共生する情報システムへ向けて「Flexible Computing」の概念を提唱し、爾来その研究開発を中心に推進している。

5. 過去1年間(98年4月から99年3月まで)の主な発表論文

- 1) S. Fujita, H. Hara, K. Sugawara, T. Kinoshita and N. Shiratori, Agent-Based Design Model of Adaptive Distributed Systems, Applied Intelligence 9, pp.57-70, 1998.
- 2) C. Pornavalai, G. Chakraborty and N. Shiratori, Routing with multiple Qos requirements for supporting multimedia applications, Telecommunication Systems 9, pp.357-373, 1998.
- 3) C. Pornavalai, G. Chakraborty and Norio Shiratori, QoS based routing algorithm in Integrated Services Packet Networks, Journal of High Speed Networks 7, pp.99-112, 1998.
- 4) R. Okada, E. S. Lee, T. Kinoshita and N. Shiratori, A Method for Personalized Web Searching with Hierarchical Document Clustering, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.4, pp.868-877, 1998.4.

- 5) 白鳥則郎, 木下哲男, ネットワーク革新の検証と将来展望, 電子情報通信学会誌, Vol.81, No.4, pp.426-429, 1998.4.
- 6) B. B. Bista, K. Takahashi and N. Shiratori, Composition of Protocol Functions, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E81-A, No.4, pp.586-595, 1998.4.
- 7) T. Ando, K. Takahashi, Y. Kato, and N. Shiratori, A Concurrent Calculus with Geographical Constraints, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E81-A, No.4, pp.547-555, 1998.4.
- 8) N. Kataoka, H. Koizumi, H. Doi, K. Kitagawa and N. Shiratori, A Proposal of a Method of Total Quality Evaluation in Remote Conference Systems Based on ATM Networks, IEICE Trans. Commun, Vol.E81-B, No.9, pp.1709-1717, 1998.9.
- 9) K. Takahashi, K. Sugawara, T. Ando, Y. Kato and N. Shiratori, Specification of Concurrent System Based on Propositional Logic, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.1, pp.322-332, 1999.1
- 10) 原英樹, 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, 計算機プロセスのエージェント化のための知識記述方式, 電子情報通信学会誌, Vol.J81-D-I, No.5, pp.556-573, 1998.5.
- 11) 原英樹, 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, ADIPSフレームワークのための知識記述支援ツール, 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No.11, pp.3142-3145, 1998.11.
- 12) 橋本浩二, 野村尚央, 柴田義孝, 白鳥則郎, QoS保証を考慮したやわらかいマルチメディアシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.1, pp.113-123, 1999.1.
- 13) G. Chakraborty, C. Pornavalai, D. Chakraborty and N. Shiratori, Routing in Multimedia Communication, Proc. of the Inter. Conf. on Computers and Devices for Communication (CODEC-98), pp.245-250, 1998.
- 14) T. Suganuma, T. Kinoshita, K. Sugawara and N. Shiratori, Cooperation Protocols for Multimedia Communication Network based on ADIPS Framework, Proc. of the 1998 International Conference on Parallel Processing (ICPP-98) Workshop on Flexible Communication Systems, pp. 76-85, 1998.8.
- 15) J. Sekiba, G. Kitagata, T. Suganuma, T. Kinoshita and N. Shiratori, FAMES: Design and Implementation of Flexible Asynchronous Messaging System, Proc. of Inter. Conf. of Software in Telecommun. and Computer Networks (SoftCOM98), pp.125-134, 1998. 10.

音響情報システム研究分野

高次音響情報通信システムの実現を目指して

○分野の目標

通信システムにおいて、情報の発信と受容の担い手として、人間は大きな役割を担っている。したがって、高度・高次通信システムを作り上げるためには、人間の情報処理の仕組みを明らかにすることが不可欠である。人間の知覚情報処理系の中で、聴覚モードは最重要な情報処理過程の一つである。通信路の両端に人間がいる場合には、聴覚はとりわけ大きな役割を果たしている。

本分野の研究目標は、聴覚系の情報処理過程を明らかにすると共に、その知見を応用し高度な音響通信システムや快適な音環境を実現することである。

○平成10年度の主な研究成果

1. 聴覚情報処理過程の解明

・聴覚の時間領域モデルの構築

これまでの研究により、音刺激の時間的な微細構造が、音色の聞こえと密接に関係していることが明らかになってきた。そこで、平成10年度は、音刺激の微細な時間構造の違いがもたらす聞こえの変化の説明を可能とする聴覚モデルの構築を行った。このモデルは、過去の提案とは異なり、時間領域で全ての処理を行うことを特徴としている。その結果、高調波間の位相差による域値の変化や、それに伴う音色の変化を説明することが可能となった。

・ラウドネス知覚の研究

ラウドネス（音の感覚的な大きさ）は、音色、ピッチと並んで聴覚の基礎的な知覚要因である。平成10年度は、特に、これまでに蓄積したデータから、最終的な2次元の等ラウドネス曲線を与えるためのアルゴリズム開発に注力した。このアルゴリズムは、ラウドネス関数の精密なモデルと、非線形最小二乗法に基づいている。

本研究は、音響標準特性として重要な、等ラウドネスレベル知覚特性の現行国際標準（ISO 226）を全面的に見直すための国際共同研究の一環として行っているものである。得られたデータは、ISO/TC 43に提供し、新標準を決定するための基礎データとして大きな貢献を果たしている。

・3次元音空間知覚過程の研究

距離知覚過程

距離定位は、水平面や正中面定位に比べ検討が進んでいない。本年度は特に、継時的に提示された二つの音像の距離の相対的判断について、絶対的な距離知覚と比較しながら考察を行った。実際の音環境知覚においては、単一音源の定位位置の絶対判断だけではなく、複数の音の定位位置間の相対判断も重要であると考えられるからである。実験の結果、相対判断の場合には、絶対判断では知覚距離弁別が困難な距離においても距離の弁別が可能となることを見いだした。

聴取者の動的挙動の効果・影響

音を聴取する際、我々は頭部を動かすことによって、音源から耳に到達する音の特性を時間的に変化させ、これにより、より多くの音空間情報を得ようとしていると考えられる。そこで、聴覚ディスプレイシステムを用い、この点に関する聴取実験を行った。その結果、聴取者の動きによって音空間知覚の精度が改善されること、またその改善の度合いには強い周波数依存性があることが明らかになった。

音空間内における特徴抽出機構の解明

視覚においては、空間的に分散した多くの図形の中から、ある特徴を持った図形要素を選択的に知覚するとき、容易に検出可能な図形要素が存在することが知られている。いわゆるポップアウト現象である。一方、聴覚においては、このような現象の報告は全く行われていなかった。そこで純音と狭帯域雑音を刺激音として用い、聴覚におけるポップアウト現象に関する実験を行った。その結果、狭帯域雑音にポップアウト現象が見られることを初めて明らかにした。

2. 高度な音響通信システムの実現を目指して

・3次元音場の物理的特性の解析

平成10年度は、境界要素法を実際の音場の解析に用いるための研究に取り組んだ。具体的には、音空間知覚において極めて重要な役割を果たしている、聴取者の頭部形状に依存する伝送特性、即ち、頭部伝達関数をスーパーコンピュータを用い、境界要素法によって計算するための手法の開発を

行った。これにより、実際の人間を被験者として測定することが困難な、全立体角にわたる頭部伝達関数を完全に求めることが可能となる。

・デジタル補聴器の研究

高性能で快適な補聴システムの実現は、高齢化社会の進展による老人性難聴者の急増を見越したとき、重要な課題である。我々が、本学の耳鼻咽喉科との共同研究で開発しているデジタル補聴器は、ある時点ある周波数における出力が健聴者と同じ大きさ(ラウドネス)になるように利得を決定することによって、聴力特性の補償を行うというものである。このような考えに基づく補聴アルゴリズムは、ラウドネス補償型と呼ばれ、本研究グループは研究開始以来、この考え方の重要性を一貫して訴えてきた。このアルゴリズムに基づく補聴器は、平成7年から実際に市販されるに至っている。

本年度は、次世代のデジタル補聴器への適用を目指し、両耳ラウドネス補償アルゴリズム開発を行った。また、ウェーブレット変換や適応ビームフォーミングを用いた不要音抑圧手法など、基礎的なデジタル信号処理手法の研究を進めている。更に、補聴器を実際の難聴者に適用するにあたっては、補聴特性の評価と最適化が重要であることから、単語の親密度に着目して、難聴者の聴力を精密に評価する手法についても研究を進めている。

・快適な音環境の実現を目指して

ヒトが音環境を理解する際に、どのような情報を用いているかを解明することは、音環境を評価する上で重要かつ基礎的な研究課題である。また、我々が音環境を理解する場合、我々は聴覚からの情報だけではなく、視覚など他の知覚モードからの情報も合わせ用いていると考えられる。

そこで、音に映像を付加した実験を行い、視覚情報が環境音知覚に及ぼす影響を検討した。その結果、映像を付加しても評価因子としては音だけを提示した場合と同じ7因子であることが示された。一方、各刺激音に対する実験条件AVの因子得点と実験条件Aの因子得点の間には大きな変化が見られ、付加された映像から得ることのできる様々な情報を解釈することにより、音に対して抱くイメージが環境音の評価に影響を及ぼしていることが分かった。

○研究テーマ

1. 聴覚のモデリング手法の研究
2. ラウドネス知覚特性の研究
3. 3次元音像知覚過程の解明と制御

4. 3次元音場の精密数値解析と制御手法
5. デジタル補聴システムの研究
6. 次世代デジタル補聴アルゴリズムの研究
7. 環境音の評価手法の研究

○職員

教授 曾根 敏夫 (1981年より)
 助教授 鈴木 陽一 (1989年より)
 助手 高根 昭一
 助手 陳 国躍
 技 官 斉藤 文孝

○曾根敏夫のプロフィール

1958年3月東北大学工学部電気工学科卒、1963年3月同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程修了。東北大学工学部助手、同助教授、同教授を経て現職。大学院当時から、人間の聴覚を対象とする音響学の研究に従事。音響機器、ホールの音響特性の主観評価と物理特性の関連、聴覚における情報処理過程、騒音の評価と低減策、騒音中における音信号の伝送、音像の定位、デジタル補聴器、ラウドネス特性等の研究に従事。

○平成10年度の主な発表論文

1. R. Nishimura, F. Asano, Y. Suzuki, and T. Sone, "Speech enhancement using spectral subtraction with wavelet transform," *Electronics and Commun. in Japan*, **81** (1998), 24-31.
2. 安倍, 小澤, 鈴木, 曾根, "音色表現語, 感情表現語及び音情報関連語による環境音評価," *日本音響学会誌*, **54** (1998), 343-350.
3. 高根, 鈴木, 曾根, "壁面音響特性評価のための等価音響アドミタンスの提案," *日本音響学会誌*, **54** (1998), 641-648.
4. H. Hidaka, T. Kawase, S. Takahashi, Y. Suzuki, K. Ozawa, S. Sakamoto, N. Sasaki, K. Hirano, N. Ueda, T. Sone, and T. Takasaka, "Clinical evaluation of a portable digital hearing aid with narrow-band loudness compensation," *Scand. Audiol.*, **27** (1998), 225-236.
5. 坂本, 鈴木, 天野, 小澤, 近藤, 曾根, "親密度と音韻バランスを考慮した単語理解度試験用リストの構築," *日本音響学会誌*, **54** (1998), 842-849.

生体コンピューティングシステム研究分野

実世界における認識と制御の情報原理の
解明とその応用

1. 実世界における認識と制御の問題点

近代科学の成功は、因果律と自他分離の記述によるところが大きい。この方法論が何処まで有効であるかは、必ずしも自明ではない。自然科学やその応用としての技術は人文科学や社会科学と異なって、人間の価値判断を退けるという特徴を持つ。これが自然科学が普遍性を獲得した所以であり、いわゆる客観性と言われるものである。しかしながら自然科学が一切の仮設無しに成立することは歴史的に見てもあり得ない。科学は対象となる現象をある一定の場面で切り取って、そこで成り立つ法則性を追求してきた。切り取るという方法論は勢い分析的、解析的にならざるを得ない。切り取ることが可能であるためには、それを可能にする前提が存在するということである。この前提の下で科学の体系が作られ、これまでは因果律が強力な武器となり得た。そして、それまでの理論体系が適合しなくなると、それが成り立っていた前提を新しい前提が包含するように新しい科学がつくられることで進歩を遂げてきた。したがって、自然科学はその成立の過程で常に自己完結性を有するように変化してきたのである。

一方この様な方法論が、生命システムにおける認識や制御にも適用出来るかどうかを検討してみる。予測不可能に変化する実世界は本質的に無限定であり、生命システムがそこで認識したり、自己を制御する場合は自他分離が可能であるとは必ずしも言えないからである。それは、系をとりまく環境が複雑な時空間構造を持ち、かつその変化が予測不可能な場合、生命システムがこの様な環境を認識したり、そこで運動を制御することは定義不可能な無限定問題になるからである。この環境の複雑性に対応するためには、システムは環境の複雑さを上回る無限定さを有しておく必要がある、システムと環境を予め分離することが出来ないという意味で自他分離が出来ないのである。無限定なままでは生命システムは認識や制御を行うことが出来ないが、やっかいなことにシステムと環境の間でやり取りされる情報は、それ自身曖昧性や不完全性が含まれており、限定するのに十分な情報は得られない。認識や制御を行うということは、システムが環境との間に適切な関係を作

り出すことである。自律的に適切な関係を作るということは、無限定なシステムを環境に応じて限定するという能動性があるということになる。無限定問題を限定するには拘束条件が必要で、これまでの科学の方法論であればシステムの外部から人間が拘束条件を与えることになる。これに対して、生命システムが自律性を持つということは、拘束条件を自ら作り出すことによって無限定を限定することを意味する。

拘束条件を自律的に生成するためには、これまでの科学の論理である演繹や帰納に加えて、「仮設発想」の論理が必要となる。したがって、実世界で認識や制御を行うシステムは、1) 如何にして「仮設発想」を行うのか、2) 仮設という拘束条件の下でシステムを如何に制御するのか、を明らかにする問題に帰することになる。我々はこれらの立場から研究を進めており、システム概念は上位概念もしくは上位の法則によって下位概念を説明する方法論であり、具体的には1) はいわゆる自己言及性と述語論理的なものを用いた「仮設発想」論理（上位概念の生成論）の確立であり、2) はいわゆる自己言及性を用いた逆問題を解く方法論の開発の研究である。畢竟、因果法則とは逆の道を辿ることになり、目的論的説明と因果的説明の融合を目指すことになる。

2. 運動制御問題

逆問題の典型的な例として運動制御の問題を取り上げてみる。運動制御は外界認識、運動計画、運動制御という一連の情報処理過程のうち、運動計画があったときにその目的を達成するためにどのようにシステムを制御するのかということに相当する。すなわち、非定常な外界に対してシステムをその変化に合わせて目的をどの様に制御するのかという逆問題になる。ここで問題にする運動は歩行において速度や、方向が設定されたときに変動する負荷に合わせて最適な gait pattern を生成する制御である。つまり、歩行速度や方向が目的で、この拘束条件を最適に満足する逆問題である。従来の歩行制御はキネマチックな方法論で、速度をオーダーパラメータとして一意的に gait pattern を決定する方法論である。したがって、外界の変動

や、システムの故障に対して柔軟に対応することは出来ない。

これに対して我々は実世界における運動制御を最適に行うためにはシステムが次のような条件を満足しなければならないことを明らかにした。

制御システムは3層からなり、各層の役割は上位の層から

- 1) 逆問題の拘束条件を受け取り、階の層で生成するあらゆるgait patternを可能にするリズムネットワーク層、
- 2) 上位層が拘束条件を受け取った条件下で最適パターンを生成する多形回路からなる層、
- 3) 中間層の作り出したパターンが個々のアクチュエータが自己言及的に評価してその情報を中間層および最上位層に送る層、

から構成される。これは計算論的に言えば、因果律的なボトムアップの方法では、要素の性質と要素間の性質を決めて、初期条件を与えることによって出力であるgait patternが決定されることになる。しかし、それが最適解であるためには、力学方程式のパラメータ空間を検索して求めなければならない。本研究で行った逆問題の解法は、あらゆるgait patternを可能にしておいて、各要素が自己言及的に最適化を求めて競合と協調を行うため、拘束条件を充足しながら最適なパラメータがもとめられることになる。この方法は無限定な環境下で、拘束条件を自律的かつ最適に充足する方法論で、目的論的な解法を示した初めての研究となる。

3. 視覚認識問題

パターン認識を始め、人工的な情報システムに認識を行わせるためには、従来の因果論的な方法論では不可能である。予め入力された情報と単にマッチングを取るということでは、無限定な環境を認識することは出来ない。つまり何を認識するのかを予め限定しておかないことには、現在のシステムは機能しない。認識は対象に対する知識を予め有していない場合にも可能でなくてはならない。曖昧なあるいは不完全な入力情報から解析的・論理的に解を求める方法論は存在しない。つまり認識問題は本質的に不良設定問題となるからである。この不良設定問題を解くには拘束条件が必要であり、この拘束条件は予めシステムの外から与えておくことは出来ないので、状況に応じてシステム自身が作り出さないことには不良設定問題は解決しない。認識問題を解決するための論理が必要となる。

認識の場合の拘束条件を作り出す論理は今のと

ころ存在しないが、我々はこの論理は述語論理を用いることで解決できることを発見した。入力情報はお互いの間になんらの関係も持たない。この入力情報から、視覚認識の場合、脳が行っているような方位や空間周波数（位置関係の情報）フィルターで関係を取る。つまり各要素は入力情報の多重な関係性を取るようになる。これらの情報は全体を反映した部分情報であって個別の情報でないことを強調しておく。そしてこの部分情報は全体を反映したものであるから、部分情報がいくつか存在すれば、完全な情報でなくてもこれを用いて全体を仮設することが可能になる。これは述語論理の一種で、これらの部分情報を用いた述語論理は仮設発想の論理となる。

職 員

教 授 矢野 雅文 (1992年より)

助 手 牧野 悌也

助 手 坂本 一寛

研究テーマ

1. 視覚認識における情報表現と図と地の分離の研究
2. 記憶の生成とその時空間的発展のメカニズム
3. 無限定環境下における運動制御の研究
4. コンテキストに依存する神経回路の役割の研究
5. 音響定位と不特定話者の音声認識の研究

<矢野雅文；福岡県久留米市生まれ、九州大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学、東京大学助教授等を経て1992年より現職。脳の情報原理を解明することを目標に研究を進めている。特に脳の特長は情報生成能力にあると考え、これまでの自他分離の情報処理方式から自他非分離の情報処理、とりわけ脳の仮設生成の論理の解明とその工学的応用に力点を置いている。>

主な研究発表

1. An Insect Robot Controlled by Emergence of Gait Patterns., Kazushi Akimoto, Shigemichi Watanabe, Yoshinari Makino and Masafumi Yano, Artificial Life and Robot 1, (1999) (in press)
2. A Model of Organization of Size Invariant Positional Information in Taxis of Physarum Plasmodium, Haruki Miura & Masfumi Yano, Progress of Theoretical Physics, 100(1998), 235-251
3. A Model of binocular stereopsis including a global consistency constraint., Naoyuki Sato & M. Yano (Biol. Cybernetics, submitted)

ブレインコンピューティングシステム研究分野

脳の情報処理機構の解明とブレインコンピューティング アーキテクチャの構築を目指して

分野の目標：

当分野では、自然界に存在する自己組織構造の形成機構と情報生成、情報処理機構、その延長としての生命状態の物理数学的理論の枠組みの構築、及び、脳の知的情報処理機構の構成論的解明を目指している。すなわち非線形数理と生命現象に関する理解を基礎として、脳機能の解明を行う。

過去1年間の主な成果：

本研究室の研究分野は、主として3つに分けることができる。

[Ⅰ] ブレインコンピューティング

1) 多層フィードフォワード型のニューラルネットの学習に最も良く用いられる学習アルゴリズムであるバックプロパゲーションは、高い学習性能を実現できる反面、学習に時間がかかるという問題を持っている。この原因が、荷重空間のダイナミクスの対称性に由来することに着目し、学習すべきデータの局所的性質を与えて対称性を破ってやると、極めて高速に学習が達成できることを明らかにした。定量的評価を行い、数10倍の高速化が実現できることを報告した。

2) 海馬におけるエピソード記憶のニューラルネットモデルを提案した。

3) 人工知能の課題の一つに計算機にゲームを行わせる問題がある。囲碁は、可能な配置の組み合わせが極めて多いため、通常的人工知能の手法では難しいことが分かっている。この研究では、ニューラルネットの汎化情報処理能力を囲碁（詰碁）の問題に応用し、正解手の探索が効率的に行われることを見いだした。2000手を学習した後、未学習の543手を新たに解かせ、65%の正解を得ることができることなどを示し、汎化性能の定量的な評価を行った。

4) 動的に変化する環境の中で適応的に学習を行う強化学習アルゴリズムや、マルチエージェント系の学習アルゴリズムの研究を行い、運動予測と制御を伴う問題（ボールの壁打ちやテニスの対戦）に応用し、アルゴリズムの有効性を示した。

5) 脳の高次機能の重要な要素の一つである自律性や注意、意識などの問題を力学系の理論をベースにモデル化する研究を開始した。

[Ⅱ] 生命状態の自己組織

複雑系の典型である生命現象を取り上げ、分化や発生などの自己組織現象を実験および数理の両面から定量的に記述し、生物の巧妙なメカニズムを明らかにすることを目指している。具体的には、腔腸動物ヒドラの構成細胞を解離しその無秩序集合体が個体を再生する過程の研究、細胞性粘菌における分化プロセスと移動体の運動機構の研究、ラット神経細胞の培養再構築系におけるネットワーク形成と同期発火現象の解析などを行っている。今年度の主たる成果は、

1) 発生過程における重要なプロセスである細胞選別過程をNMRを用いて初めて3次元的にとらえることに成功した。細胞集団ヒドラ解離細胞集合体を用いて実験を行ない、初期の無秩序状態から、秩序的集団運動状態への遷移をNMR装置により可視化し、定量的な解析を行った。

2) 細胞性粘菌の集合体に起こる急速なパターン形成に着目し、パターンに特徴的な長さがあること、酸素濃度依存性があることを実験的に明らかにし、細胞分化との関係について議論を行った。

[Ⅲ] 複雑系の研究

複雑系の研究は、プロトタイプの現象を徹底的に研究することで、その数理構造や法則性、普遍性が明らかになり、他の様々な現象への応用が可能になるという歴史を繰り返してきた。そのため自然現象や生命現象を含めた複雑系のプロトタイプといえる実験系を研究対象に選び、その解析方法や法則性を探求し、新しい理論の枠組みを形成することを目指している。

98年度の主たる成果は、次の通りである。

1) 流体乱流は、物理的な系の中では最も複雑な現象の一つである。従来 of 理論的定説は、最も強く励起された熱乱流状態では、境界層が不安定化し、熱輸送は、レーリー数の $1/2$ 乗に比例するという予想である。しかし、これは今まで実験的には観測されていなかった。これに対して、転移が起これると理論的に予想されるレーリー数より、3桁以上高い状態を初めて実現し、境界層の不安定化が起これても転移は存在しないことを実験的に確認し、従来の理論の大幅な訂正の必要性を提唱した。

2) 統計力学は、保存系の力学に基礎を置いており、エネルギーが散逸する系の統計力学はいまだ未完成である。散逸系の統計力学の構築を目指し、散逸粒子多体系のブラウン運動モデルを提案し、その数値シミュレーションと結果の理論的解釈を行った。散逸が弱い場合は、ゆらぎはガウス型に近い分布になるが、散逸が増えるに従って非ガウス性が増し、速度分布は指数型になることを示した。

3) アクティブな要素が多数集合した系に関してモデル化と解析を行い、集団運動が発生する条件や多様な運動状態を見いだした。また、多様性を生み出す機構としてのカオスの果たす役割を論じた。

職 員

教 授 沢田 康次 (1972年より)
 助教授 佐野 雅己 (1990年より)
 助 手 早川 美徳
 助 手 早川 吉弘
 学振研究員 大内 則幸

教授のプロフィール：

60年代に固体中のプラズマの研究からスタートし、70年代に液体ヘリウムの超流動現象や各種音波の研究、ソリトンの研究、化学反応系や流体系に代表される非線形非平衡系の散逸構造の研究を行なう。80年代は、非線形系のカオスやフラクタルの研究、生物の形態形成の研究、超伝導量子磁束による量子コンピュータの開発を経て、現在までブレインコンピュータの原理と設計の研究を行っている。

過去1年間の発表論文、解説記事、著書

1. N. Kataoka, K. Saito, and Y. Sawada: "First NMR Microimage of Cell Sorting Process" *Physical Review Letters* 82, pp.1075-1078(1999).
2. Yasuji Sawada, Yoshiki Maeda, Ikuo Takeuchi, Jeffrey Williams, and Yasuo Maeda: "Rapid patterning of Dictyostelium discoideum cells under confined geometry and its relation to differentiation", *Develop. Growth Differ.* 40, pp.113-120(1988)
3. J. A. Glazier, T. Segawa, A. Naert, and M. Sano: "Evidence against 'UltraHard' Thermal Turbulence at Very High Rayleigh Numbers", *Nature* 398, pp.307-310(1999).
4. Yoshihiro Murayama and Masaki Sano: "Transition from Gaussian to Non-Gaussian

Velocity Distribution Functions in a Vibrated Granular Bed", *Journal of the Physical Society of Japan* 67, pp.1826-1829(1998).

5. Takehiko Segawa, Antoine Naert, and Masaki Sano: "Matched boundary layers in turbulent Rayleigh-Benard convection of mercury", *Physical Review E* 57, pp.557-560(1998).

国際会議プロシーディング

6. Y. Hayakawa and Y. Sawada: "LOCAL FEATURE LEARNING ALGORITHM", *Proc. 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*, Vol 2, pp.463-466(1998).
7. Y. Hayakawa and Y. Sawada: "LOCAL FEATURE LEARNING ALGORITHM FOR HIGH SPEEDLEARNING", *Proceedings of The Fifth International Conference on Neural Information Processing, Kitakyushu, ICONIP '98*, Vol 3, pp.1587-1590(1998).
8. Makoto Ito, Jusuke Kuroiwa and Shogo Miyake: "A Model of the Hippocampus - Neocortex for Episodic Memory", *Proceedings of The Fifth International Conference on Neural Information Processing Kitakyushu, ICONIP '98*, Vol 1, pp.431-434 (1998).
9. Nobusuke Sasaki and Yasuji Sawada: "Neural Networks for Tsume-go Problems, *Proceedings of The Fifth International Conference on Neural Information Processing, Kitakyushu, ICONIP '98*, pp.1141-1144(1998).

解説記事

10. 早川美徳、水口毅：
「群れ運動の数理モデル」, *数理科学* No.424 (1998) pp.63-70.
11. 早川美徳：
「破壊現象のモデリングとコンピュータシミュレーション」, *物性研究* 71 (1998) pp.393-404.
12. 佐野雅己：
「集団運動の数理」, *数理科学* No.421 (1998) pp.62-68.

超伝導コンピューティングデバイス研究分野

超伝導を利用した高速，低消費電力，
超高感度電子デバイスとシステム

○本研究分野の目標

人間の脳の優れた情報処理能力を人工的に実現しようとする上で必要となる，これまでにない大規模かつ高密度の人工集積回路には高速性はもちろん熱発生 of 極端に少ない演算素子が求められる。また，人工神経回路の規範となる，脳の機能には未解明な点が多く残されており，脳機能障害等を的確に診断する上からも，脳の神経活動を高精度に計測することが求められている。

超伝導体を利用した演算デバイスは，電気抵抗が無いため非常に低消費電力でしかも高速であることが確かめられている。また，超伝導体を利用した磁気計測デバイスは脳の神経活動によって発生する極めて微弱な磁気(脳磁界)を検出する能力を持っている。

本分野では，脳神経活動を計測可能な超高感度超伝導磁気計測デバイスの研究を行うとともに人工脳ともいえるべき大規模な超伝導コンピュータシステムを目指した超高速・低消費電力超伝導演算デバイスおよび超伝導デバイスの高速・高感度性を利用した高周波デバイスの研究を行う。

○本研究分野の研究成果

1) 超高感度テラヘルツ検出デバイスとして期待される高温超伝導粒界型ジョセフソン接合素子を低誘電率バククリスタル基板上に作製し接合特性の改善を図ると共に，接合と一体化したアンテナを基板面に形成して高周波特性に与える影響を詳細に検討した。その結果，低誘電率でテラヘルツ領域で低損失なシリコン単結晶基板上に高臨界電流・抵抗積を有する高品質な人口粒界接合を作製することに成功し，併せて平面型対数周期アンテナを一体化することにより2.525THzに対する明瞭な高周波応答が4.2Kから50Kの範囲で確認できるデバイスを作製した。さらに高感度な測定法を用いることによりこれらのデバイスが70Kの高温まで2.525THzに応答可能であることを確認した。このデバイスは，交流ジョセフソン電流と高周波との相互作用を利用して液体窒素温度で動作可能な広帯域テラヘルツスペクトロメータ及びマイクロ波を局部発振に用いたハーモニクヘテロダイン受信機のキーコンポーネントとなることが期待さ

れる。

2) 人口粒界ジョセフソン接合の高周波応答が外部磁界の印加によって強調されるという特異な現象を発見し，計算機シミュレーションによりこの現象が接合部分が等価的に2つの接合を含む超伝導ループと見なせるときにそこに高周波磁界を鎖交させることによって再現できることを明らかにした。この現象を応用することにより電圧標準，高速A/D変換，論理演算などの超伝導回路をこれまでにない方式で実現することが可能になると考えられる。

3) 高温超伝導体の層状の結晶構造に由来する固有ジョセフソン接合を従来の単結晶バルクに頼ることなく薄膜で実現することを目的に積層軸が面内に配向したランタン系高温超伝導単結晶薄膜を作製し，積層面を横切るように膜上に形成したマイクロブリッジを用いて，ランタン系薄膜で初めて固有ジョセフソン効果の発現を観測した。

4) $\text{SrO-Bi}_2\text{O}_3\text{-CaO-CuO}$ 系の相平衡に関する研究によって，110Kに転移温度(T_c)をもつ高温相($n=3$;H相)の合成条件を確立した。基本的には $n=1$ 相($T_c \sim 10\text{K}$;R相)と $n(\text{CaO-CuO})$ の結合系から得られるが一般に鋭敏な超伝導転移を示さない。転移幅(T)は組成比 $A(\text{Sr:Bi})$ に依存し， $A=1.0$ の条件を必要とすることを見いだした。これは化学量的組成(2223)の有効性を示唆するが，その条件は PbO の導入によってのみ充足し得るものである。

5) イオンビームエッチングなどの物理的加工に頼らない単結晶固有ジョセフソン接合作製法として期待されるシリコンイオン注入法による固有ジョセフソン接合プロセスに取り組んでいる。結晶性を含め作製した固有ジョセフソン接合の品質を評価するうえからも，また，磁束流発振素子あるいは磁束流増幅器といった応用上の観点からも極めて重要な指標となる接合電流が与えるローレンツ力による磁束量子の運動を詳しく評価した。その結果，イオン注入固有ジョセフソン接合中を運動する磁束量子の速度は約 10^5 m/s に達し，従来の物理加工による固有ジョセフソン接合のそれに遜色無いことを明らかにし，デバイスの平面化，集積化に有利なイオン注入固有ジョセフソン接合の優位性を確認した。

○職員

教授 山下 努 (1991年より)
 助教授 中島 健介 (1993年より)
 助教授 陳 健 (1998年より)
 助手 菅井 徳行
 助手 水柿 義直 (1998年より)
 COE外国人研究員 S.E.Shafranjuk
 COE非常勤研究員 金 相宰

○山下努教授プロフィール

1939年(昭14)4月11日(60歳)生まれ、専門＝電子デバイス工学、電子材料工学。研究分野＝超伝導エレクトロニクスと超伝導材料。最終学歴＝東北大学博士課程・電子工学専攻、1963年修了。工学博士＜東北大学＞1969年。学位論文「ジョセフソン素子に関する研究」。学会＝応用物理学会、電子情報通信学会、電気学会。略歴＝電気通信研究所助手を経た後、長岡技術科学大学電気系教授を歴任。南京大学情報物理系客員教授。現在、東北大学未来科学技術共同センター及び電気通信研究所教授。著書「超伝導回路」共立出版(1981)、「薄膜ハンドブック」オーム社(1983)、「ジョセフソン効果の物理と応用」近代科学社(1988)、「高温超伝導の科学」裳華房(1988)、新潟日報文化賞受賞(1985)。

○発表論文

S.E.Shafranjuk, M.Tachiki, T.Yamashita, "Fluxon lattice oscillations in layered Super-conductors" PHYSICAL REVIEW B, Vol.57, No. 21, pp.13765-13772, Jun 1998.

S.E.Shafranjuk, T.Yamashita, "Giant Flux quantization in layered Super-conductors" PHYSICAL REVIEW B, Vol.58, No.1, pp.121-124, Jul 1998.

J.Chen, E.Kobayashi, H.Myoren, K.Nakajima, T.Yamashita, S.Linzen, F.Schmidl, P.Seidel, "Submillimeter wave detection and mixing experiments using high temperature Josephson junctions" SPIE, Vol.3465, pp.200-205, Jul 1998.

C.Koster, J.Chen, H.Myoren, K.Nakajima, T.Yamashita, A.Takada, "Enhanced AC Josephson Junction Effect YBa₂Cu₃O_{7- δ} Junctions Driven by two RF Sources" Japanese Journal of Applied Physics, Vol.37, part.1, No.8, pp.4356-4357, Aug 1998.

H.Myoren, M.A.J.Verhoeren, J.Chen, K.Nakajima,

T.Yamashita, D.H.A.Blank, H.Rogalla, "High-TC Ramp-Type Josephson Junction MgO substrates for Terahertz Applications" IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.8, No.3, pp.132-136, Sep 1998.

M.B.Tunyswa, K.Nakajima, J.Chen, S.J.Kim, H.Wang, T.Yamashita, "Effects of Grain Boundaries on Temperature Dependence of Microwave Surface Resistance of YBa₂Cu₃O_{7-x} Thin Films" Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37, part 1, No.10, pp.5540-5543, Oct 1998.

S.J.Kim, T.Yamashita, "Electron-Beam-Damaged YBa₂Cu₃O_{7-y} Josephson Junctions for High-Frequency Device Applications" ICIE Transactions on Electronics, Vol.E-81C, No.10, Oct 1998.

T.Onomi, Y.Mizugaki, H.Satoh, T.Yamashita, K.Nakajima, "Phase-Mode Circuits for High-Performance Logic" IEICE Transactions on Electronics, Vol.E-81-C, No.10, pp.1608-1617, Oct 1998.

Y.Uematsu, K.Nakajima, T.Yamashita, "Intrinsic Josephson effect in La_{2-x}Sr_xCuO₄ mesa junctions with niobium counter electrode" Applied Physics Lett., Vol.73, No.19, pp.2820-2822, Nov 1998.

Y.Mizugaki, J.Chen, K.Nakajima, T.Yamashita, "Numerical Evaluation for the High-Frequency Response of Josephson Junctions Having Finite Capacitance" Japanese Journal of Applied Physics, Vol.37, part 1, No.11, pp.5971-5972, Nov 1998.

C.Buzza, T.Yamashita, "Electron spin interactions and Meissner effect" Physica B:Condensed Matter, Vol.259-261 (1), pp.494-495, Jan 1999.

Yu.I.Latyshev, S.-J.Kim, and T.Yamashita, "Experimental Evidence for Colomb Charging Effects in Submicron Bi-2212 Stacks" JETP Lett., Vol.69, No.1, pp.75-80, Jan 1999.

S.-J.Kim, Yu.I.Latyshev, and T.Yamashita, "Submicron Stacked-Junction fabrication from Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+?} whiskers by Focused-Ion-Beam Etching" Applied Physics Lett., Vol.74, No.8, pp.1156-1158, Feb 1999.

マルチモーダルコンピューティング研究分野（客員分野）

人間の知覚過程における クロスモダリティの研究に向けて

○分野の目標

大気リモートセンシング画像パターンニング用の
ミリ波サブミリ波超伝導検出器の研究

○過去1年間の主な成果

我々は、高温超伝導単結晶を用いて液体ヘリウム温度（マイナス269℃）で作動する単電子トンネル素子を実現した。Bi₂Sr₂CaCu₂O₈針状単結晶にFIB（集束イオンビーム）加工を行いサブミクロン単結晶素子を作成し、この素子面積を1ミクロン平方程度にすると、電子が1個ずつ通過する超伝導単電子トンネル現象が起こることが明らかになった。

単電子トンネル現象は、これまで金属や半導体で観測されているが、面積がサブミクロン平方程度では10mK程度の極低温が必要であった。ところが単結晶素子は、超伝導層と絶縁層の積層構造をもっており、接合の層数に逆比例してその静電容量が小さくなる一方、単電子トンネル現象を起こすための帯電エネルギーが積層の数の増加と共に大きくなるという特徴がある。このため、積層の数が50くらいで、単電子トンネル現象が起こることが分かった。また、Bi₂Sr₂CaCu₂O₈単結晶は、接合の抵抗が量子抵抗より大となり、電子が量子ゆらぎによって元に戻らないため、単電子トンネル現象が起こることが分かった。

単電子トンネル現象を基礎とする電子素子は、現在の半導体素子を極小にした場合の究極の素子として、その実現を目指し多くの研究が行われている。今回の実験結果は、超伝導単結晶素子がサブミクロン平方の大きなサイズで、しかも液体ヘリウム温度で作動する超伝導単電子素子の実現できることを示したものであり、大集積回路用の超伝導単結晶単電子トランジスタやメモリーの実現が期待される。サイズの大きな磁束量子を基礎とする、従来のジョセフソン集積回路の最大の弱点であった、「大きすぎるメモリ、素子」の問題も新しい超伝導単電子素子の実現によって、解決される可能性が出てきた。

○教授のプロフィール

Iouri Latyshev（ユーリ ラティシェフ）

Moscow Physical and Technical Institute(Technical Univ.)より、学士号、修士号、博士号を1973、1976、1980年に取得。1976年

より、Institute of Radio Engineering and Electronics Russian Academy of Science (IREE RAS) にて技官を務め、研究員、Ph.D研究員を経て、現在は上級研究員及びロシア研究特別資格を取得。98年4月より2000年1月までブレインコンピューティング部門客員助教授。

○過去1年間の発表論文等

1. A.A.Sinchenko, Yu.I.Latyshev, S.G.Zybtseva and I. G.Gorlova, "Local spectroscopy of carrier reflection at the interface between a normal metal and the Peierls conductor K_{0.3}MoO₃" JETP, Vol.86, No.5, pp.1001-1007, May 1998.
2. Yu.I.Latyshev, B.Pannetier, and P.Monceau "Charge density wave transport in submicron antidot arrays in NbSe₃" Eur. Phys. J.B 3, pp.421-426, 1998.
3. Yu.I.Latyshev, S.-J.Kim, and T.Yamashita, "Experimental Evidence for Colomb Charging Effects in Submicron Bi-2212 Stacks" JETP Lett., Vol.69, No.1, pp.75-80, Jan 1999.
4. S.-J.Kim, Yu.I.Latyshev, and T.Yamashita, "Submicron Stacked-Junction fabrication from Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ} whiskers by Focused-Ion-Beam Etching" Applied Physics Lett., Vol.74, No.8, pp.1156-1158, Feb 1999.

情報記憶システム研究分野

スピニックスストレージの研究と そのテラビット情報ストレージシステムへの応用

分野の目標

マルチメディアなどに代表される情報通信の高度ネットワーク化に伴い、コード情報だけでなく、音声や映像などを含む、多様かつ膨大なデータを取り扱う大規模情報システムの開発と普及が進んでおり、処理すべき情報量が飛躍的に増大している。これに対応する次世代のインフラストラクチャとして、情報システムの三要素である伝達、処理、蓄積の、全てに亘ってバランスの取れた発展が不可欠で、特に、莫大な情報を蓄積できる唯一の手段である磁気ストレージの高密度・大容量化及び高速化を図っておかないと、これがシステム全体のスループットや容量限界を決める重大な隘路になるおそれがある。

本分野では、ストレージの性能向上のためには磁性連続膜に情報を書き込むという従来のマクロ的な見方で進めるのはもはや不十分であるという視点に立ち、これからの超高密度化の研究には、ストレージメディアの構成要素である単磁区磁性微粒子、言い換えれば電子スピン群、にデータを書き込むという新しいミクロな概念が必要であると考えて、これをスピニックスストレージと呼ぶことを提案し、新しい磁気ストレージ工学の展開を模索している。今後の磁気ストレージ工学の展開には、スピンの挙動に根ざした学問体系の確立とそれに基づいたシステムの設計原理を導く必要がある。

一方でこれらの動画情報を中心とする大容量情報の普及に備えるには、テラバイトクラスの超大容量高速ファイルシステムの実現が必要である。限界が見え始めた従来方式に対して、本分野で提案され研究開発が進められてきた垂直磁気記録方式が改めて注目されている。格段に高い記録密度がすでに実証されているだけでなく、現在の磁気記録装置の製造技術のインフラを大きく換えることなく技術移転できる可能性が見えてきたからである。実用方式として具体化するには、垂直磁化方式の利点を活用しながら、さらにヘッド、メディア、信号処理、システムアーキテクチャ、などを総合的、システムの的に検討する必要がある。

これらの観点から、本分野ではこれまでのデバイス中心の研究範囲を広げ、システムの的な視点を

取り入れたデバイス研究を行うとともに、従来のわが国の情報ストレージ分野では大きく立ち遅れているストレージサブシステムの研究を、大容量映像ファイルシステムを視野に入れて開始しつつある。

本分野では、このような背景のもとで研究を行ない、以下に示す主な成果を得ている。

過去一年間の主な成果

(1)スピニックスストレージ方式の基本コンセプトの構築と検証

垂直磁気記録では、従来記録方式では実現が困難な超100Gbits/inch²の可能性はある。本分野では、スーパーコンピュータを用いる大規模磁気記録シミュレーションを活用して高密度磁気記録機構の研究を行っている。特に本研究室で開発された、定量性に優れたカーリング磁化モデルを組み込んだシミュレータを用いて検討を重ねてきており、近年トラック方向の挙動を明らかにするためにこれを3次元化している。

この3次元シミュレーションにより、超高面密度記録のシミュレーションを行い、203kTPI (75nmトラック幅)で、508kfc iと406kfc iの線密度でオフトラックオーバーライトした100Gbits/inch²記録の明瞭な3次元記録ビットパターンを得ており、隣接トラック干渉が小さく十分な分解能が達成できることを示している。さらに、206Gbits/inch²の超高密度記録についても調べ、記録層厚を50nmと25nmとして、203kTPI/1016kfc iの記録パターンを計算した結果、必ずしも十分にSN比の高い記録状態ではないものの、記録層を現状の50nmから25nmと薄くすると明確なビットパターンとなることを見出し、記録層厚みを現状よりも薄くすることが100Gbits/inch²以上の高面密度記録には効果的なことが明らかにした。

一方、超高密度磁気記録媒体の大きな課題の一つが熱緩和現象によるビットの減磁である。垂直磁気記録では記録層厚みを比較的大きくでき、熱エネルギーに対抗する磁気異方性エネルギーを増加できる。これは熱緩和を抑圧できることを意味している。しかし、記録層の磁性微粒子間に働く交換相互作用及び静磁気相互作用は、記録層の材

料固有の磁気異方性を大きく修正する要因であるので、コンピュータシミュレーションを用いて定量的に調べた。マイクロマグネティックスによるアルゴリズムを3次元コンピュータシミュレーションに組みこみ、熱緩和現象に大きな影響があると思われる交換結合の効果を調べた。その結果、垂直磁気記録媒体では適度の交換相互作用を導入することで磁性微粒子が磁氣的に孤立化した状態が実現されていることが明らかになった。記録磁化の熱安定性を時間に対する緩和として計算したところ、適度な交換結合を導入した媒体に記録したビットが最も安定になることを示した。

(2) 高密度垂直磁気記録再生システム及び信号処理方式

昨年本研究室では、安定した記録再生が可能な浮上型薄膜励磁単磁極ヘッドを試作した。このヘッドは実用性にも優れており、エラーレート等の変復調系を含めた測定がはじめて可能となっている。この薄膜導体励磁型の浮上ヘッドを記録専用ヘッドにし、再生ヘッドはトラック幅 $1.4\mu\text{m}$ のAMRヘッド（シールド間隔 $0.21\mu\text{m}$ 、浮上量は40-50nm程度）を録再分離型の構成で用いて、垂直磁気記録のシステム性能を調べた。

垂直磁気記録のMRヘッドによる孤立再生パルスは低域成分を多く含む矩形波状を呈する。本検討では、長手記録で一般的に用いられているリードチャネルを使ったエラーレート評価を行うので、この矩形波パルスを微分器による波形変換により単峰性の長手記録の再生波形と類似のパルスに変換した。なお、この回路は低周波域では周波数に比例して利得が増加する微分特性を示し、カットオフ周波数より高い高周波域ではノイズを抑圧するために利得を低下させた。この試作微分型等化器を用いて実験したところ、垂直二層膜媒体のMRヘッド再生出力を微分することで、同一のMRヘッド再生での長手記録の例に比べて顕著に狭いパルス幅が得られ、高い分解能を実現できることが分かった。この測定値は相反定理による理想磁化転移に対する計算と比較したところ、ほぼ計算に一致し、実測で得られるパルス幅はヘッドの再生分解能で決まっており、垂直記録磁化の記録分解能は著しく高いことを示唆した。すなわち、ここで示した観測されるパルス幅に対して、記録磁化転移幅は無視できるほど小さいと考えて良いことを明らかにした。同時にこの結果は垂直磁気記録を用いることでシールド間隔と浮上量が大きくとも等価的に高分解能再生ヘッドであるかのような特性が得られることを示している。ただし、

再生信号のSN比は約30dBで改善の必要があることも分かった。現状の二層膜媒体では未だノイズが大きく、これがエラーレート制限要因の一つとなると考えられるので、メディアノイズの低減は重要である。

上述の試作微分型等化器をヘッドアンプとエラーレートテスターの入力端の間に接続し、復調系の諸パラメータを最適化してエラーレートを測定した結果、本ヘッドディスクは 10^{-6} のバイトエラーレートが約310kFRPIで得られており、同時に参照用として用いた長手ディスクに対して優位性のある結果が得られた。これは単磁極ヘッドを用いる垂直磁気記録に関する世界初の具体的な結果であり、垂直磁気記録はシステムの面でも優れたポテンシャルを有することを示す結果である。ここで得られたエラーレートは5Gbits/inch²相当のものであり、一定の評価はできる優れた高密度性である。しかし、復調系にやや古い方式を用いており、今後はより高次のパーシャルレスポンス方式を含めて最適化が可能でさらに高密度化が実現できると考えている。また、達成ビット長とパルス幅の比も必ずしも高くない。上記のより高次のPRMLに対する垂直磁気記録特性の検討や低ノイズディスクの効果等がこれからの課題であり、リードチャネルの詳細なシミュレーションを通じて改善のための糸口を明らかにする予定である。

職 員

教授 中村 慶久（1987年より）

助手 山田 洋

COE研究員 サイモン・グリーブス

教授プロフィール

昭和43年東北大学大学院工学研究科博士課程了。同年、同大電気通信研究所助手、昭和46年助教授を経て、昭和62年より教授、現在に至る。磁気記録の高密度化に関する研究、とくに磁気記録機構の解明と超高密度磁気記録方式の研究開発に従事。セルフコンシステントベクトル記録理論の確立、垂直磁気記録方式の研究、高分解能高感度磁気ヘッドおよびそのマイクロ加工と物性の研究などを行ない、最近は大規模計算機シミュレーションの研究や超高密度スピニックスストレージの提唱とその記録再生理論の研究、高速大容量ファイルシステムの研究などに従事。電気学会、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、日本応用磁気学会、各会員。映像情報メディア学会副会長。IEEEフェロー。

研究テーマ

1. マルチトラック並列記録の研究
2. 高速変復調チャネルの研究
3. 磁気記録チャネルの非線形性の研究
4. 3次元磁気記録シミュレータの研究
5. 大容量動画画像ファイルストレージシステムの研究

主な研究発表

1. 佐々木保,村岡裕明,中村慶久,“二層膜媒体を用いた垂直磁気記録における媒体厚みの影響”,日本応用磁気学会誌, 22, pp.237-240 (1998)
2. 服部一博,青山勉,佐藤勇武,清水幸也,中村慶久,“狭トラックMRヘッドを用いた長手媒体の三次元磁化解析”,日本応用磁気学会誌, 22, pp.269-272 (1998)
3. 佐藤一樹,村岡裕明,中村慶久,片倉亨,佐藤仁, 矢沢健児, “薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドの試作とその記録特性”,日本応用磁気学会誌, 22, pp.273-276 (1998).
4. H.Muraoka,K.Sato and Y. Nakamura, “Extremely Low Inductance Thin-Film Single-Pole Head on Flying Slider”,IEEE Trans. Magn.,34, pp.1474-1476(1998).
5. 山田洋,村岡裕明,杉田 愼,中村慶久, “薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドのオフトラックオーバーライト特性”,日本応用磁気学会誌, 22, pp.293-296 (1998)
6. 村岡裕明,三浦健司,杉田 愼,中村慶久, “単磁極記録ヘッド・微分型波形変換による二層膜垂直磁気記録のデジタル特性評価”, 日本応用磁気学会誌, 22, Supple.S3, pp.47-52(1998)
7. 村岡裕明, 中村慶久, “垂直磁気記録における非線形転移点シフトの記録密度依存性”, 映像情報メディア学会誌, 52, pp.1480-1484 (1998)
8. H.Yamada, H.Muraoka, Y.Sugita,Y.Nakamura, “Off-Track Performance of Thin Film Single Pole Head for Perpendicular Double-layered Media”, IEEE Trans. Magn, 34, pp.1468-1470(1998).

3.2 物性機能デバイス研究部門の目標と成果

次世代の電気通信および情報処理に要求される高速・高密度情報通信システムを実現するためには、そのハードウェアの基盤となる材料とデバイスの新展開が必須である。物性機能デバイス研究部門では、次世代システムの要求を満たす電子、光、および磁気デバイスの開発、さらにそれらのデバイスを構成する新材料の物性機能開発、評価、およびデバイス加工プロセスの開発を目標としている。本部門は客員研究分野1を含めて8研究分野からなり、部門の研究領域は半導体、磁性体、誘電体材料のバルク物性、表面・界面物性、ナノ構造物性、結晶成長プロセス、デバイス加工プロセス、新電子デバイス設計などを網羅している。

1. 固体電子工学研究分野

○分野の目標

固体電子工学研究分野では、①新しい構造・動作原理に基づく超微細デバイス、及び、高性能アクティブデバイスに関する研究、②超高速・超低消費電力な回路に関する研究、③高性能アーキテクチャーに関する研究、④MOSトランジスタ物理的限界を材料的に決める薄膜ゲート絶縁膜における高品質化、及び、薄膜化の研究、以上4つの研究テーマに関する研究を行っている。以上の研究を通して、知的情報化社会の基盤を支える新しい半導体デバイス・システムの実現を目標としている。

○過去一年の主な成果

- (1)高性能アクティブデバイスに関する研究においては、以前提案した新しい3次元構造MOSデバイスに関する研究を推進した。具体的には、完全空乏型SURROUNDING GATE TRANSISTOR(SGT)におけるしきい値モデル、チャンネル中を伝導する電荷のモビリティモデルを提案し、電流・電圧特性を世界で初めて定量的に明らかにした。さらに、SGTのショートチャンネル現象、及び、その電流・電圧特性を世界で初めて定量的に明らかにした。この結果、①従来の平面型MOSトランジスタと比較して、SGTは高駆動能力を有する事、②シリコン柱を細く微細化することによって、ショートチャンネル現象が抑制され、デバイス特性が安定する事を定量的に明らかにした。以上の事より、本提案のSGTは、将来の超高速シリコン集積回路の基本素子として有望であることを示した。
- (2)超高速・超低消費電力な回路に関する研究及び、高性能アーキテクチャーに関する研究においては、少ない消費電力で大負荷電流を供給できる新しい降圧回路とそのコンセプトを提案した。本提案の降圧回路は参照電圧を発生する回路と降圧電圧の変動を抑制する新しい低消費帰還回路の2つの回路から構成されている。この降圧電圧回路は、従来の降圧回路と比較して、負荷電流あたりの消費電流を約1%にまで低減している。この研究結果は、大きな負荷電流を低消費電力に駆動する必要のある将来の高機能ULSIにおいて有効である。

2. 分子電子工学研究分野

半導体プロセスにおける表面物理・化学過程をミクロに明らかにし、その知見を基に、より高品質の結晶性薄膜をより低温で実現することを目的としている。98年度の成果は以下の通りである。

- (1)Si GSMBEにおける重要な成長素過程の一つであるSi表面水素脱離過程を詳細に調べ、従来1次反応過程とされてきた同過程が水素化ガスの種類、および吸着表面の熱履歴によっては高次反応過程となることを初めて明らかにした。またフォスフィンその場ドーピング過程の表面化学に関し、Si表面上のPは(a)脱離エネルギーの増大と(b)反応次数の高次化の2因子を通して水素脱離を抑制すること、およびSi表面Pのサイトにはシランおよびジシラン分子が吸着しないことを明らかにした。
- (2)Si表面初期酸化過程をリアルタイム光電子分光法で観察し、酸化温度600℃以下で支配的なラングミュア吸着、およびそれ以上で支配的な二次元核成長型の二つの酸化モードを見出すとともに、自己触媒酸化モデルによる両者の統一的記述に成功した。さらにリアルタイム高分解能光電子分光実験を行い、Si(100)面初期酸化過程の微視的モデルを得た。
- (3)半絶縁性GaAs基板の実現に主要な役割をはたすEL2は100K以下での光照射によりその光学的・電気的性

質を消失する。このフォトクエンチング効果に寄与すると従来から予言されていたホールトラップを磁場印加熱刺激電流法により検出することに成功した。

3. スピンエレクトロニクス研究分野

スピンエレクトロニクス研究分野では、次世代情報通信機器や生体計測・医療分野における入出力インターフェースに関わるマイクロ磁気センサ・アクチュエータシステムを具現化すべく研究開発を行っている。本年度は、軟磁性薄膜のマイクロパターン化技術を通じたアナログ集積回路用GHz駆動薄膜インダクタ、微小磁気マーカ検出用マイクロ磁界センサ、生体内駆動を目指すスパイラル型磁気マイクロマシンの開発指針、スマートアクチュエータのキーデバイスとなる薄膜磁気機械結合素子の基本性能確認、ならびに超高周波高分解能EMC計測技術など、ほぼ所期の成果を収めることができた。

4. プラズマ電子工学研究分野

プラズマと気体および固体表面との相互作用の解明をもとに、新材料・電子デバイスの開発に必要な知的プラズマプロセスの基盤技術を構築するための研究を行う。

5. 情報記録デバイス工学研究分野

垂直磁気記録を基礎とする超高密度磁気記録とそのデバイスの研究、並びに微細磁性物性の研究を行い、主として以下の成果を得た。磁気ヘッドデバイスについては薄膜型単磁極ヘッドの研究に注力している。本年度はリソグラフィプロセス等の改良を加えつつ数回のヘッド試作を行い、記録感度と分解能をさらに向上させることができた。この結果、エラーレート特性などのシステム試験に用いることが可能な段階までに達している。このヘッドは、本所情報記憶システム分野での高密度システム研究に使用して成果を挙げている。

記録媒体については、高分解能性を改善するために、垂直磁気記録ディスク記録層薄膜の結晶構造等についての検討を加え、磁性層の成長過程を制御する研究を行った。特に、Co-Cr系の垂直磁気異方性膜の特性改善に対して、従来の1/10程度である5nm厚さのTi膜が有効なことを見出した。実験の結果、重要な因子である垂直磁気異方性と保磁力の両者の向上が確認されている。記録特性からは、介在する非磁性膜は極力薄いことが求められるので、この成果は今後のディスク試作に有益な知見である。

以上は、磁気ヘッドだけでなく磁気ディスクについても超高密度記録特性の実験を行うために準備が進んでいることであり、来年度以降上記磁気ヘッドとディスクのデバイス改良を進めながら、同時にこれらを組み合わせた高密度記録実験を予定している。

6. 光電変換デバイス工学分野

固体表面における光と電子の相互作用を通じて光電変換デバイスの基礎となる表面物性と固体表面で起きる物理・化学現象を研究し、得られた知見を原子レベルで制御された機能性表面・界面および薄膜の作製、発光素子の開発、光エネルギー変換などに応用することを目的としている。

98年度にも科学技術振興事業団の戦略的基礎研究プロジェクト「STM発光分光法と近接場光学分光法による表面微細構造の電子物性の解明」を遂行中であり、このプロジェクトで走査型トンネル顕微鏡(STM)発光現象を利用した原子レベルの位置分解能、meVのエネルギー分解能、psの時間分解能を有する新しい計測手法による表面微細構造の物性研究に力を注いでいる。98年度には井戸層の厚さが数nm以下のGaAs/AlGaAs超格子構造の個々の井戸側面のSTM発光分光に成功した。また、Au(110)-(2x1)表面においてSTM発光スペクトルが原子分解能の位置依存性を示すことを発見した。ピコ秒パルスレーザーを照射したSTMから、レーザーと同じパルス幅をもつSTM発光の観測に初めて成功した。

また、液晶の配向機構の研究も行った。98年度には、直線偏光紫外光照射されたポリイミド膜表面の分子配向の異方性をFT-IR法を用いて定量的に評価し、ラビング処理によって誘起される分子配向の異方性よりも小さいことを明らかにした。

7. 電子量子デバイス工学研究分野

本分野では、構造規定された固体表面・界面での分子レベル反応制御によって原子・分子レベルの微細構造を構築することを目的に、表面・界面反応のその場観察や反応制御法の開発研究を行っている。また、

新しい物性機能を有する薄膜電子材料の開発にも取り組んでいる。本年度は昨年度に引き続き、①シリコン表面の原子・分子吸着状態の解明、②シリコン固液界面反応過程のその場観察、③半導体表面上薄膜形成過程の研究を行った。さらに、半導体ウェーハ表面汚染検査装置の開発にも新たに取り組んだ。

高感度赤外内部反射分光分析装置を用いて、水素原子の脱離過程を詳細に調べ、水素脱離が表面の荒れに影響されることをつきとめた。また、炭化水素分子、メチルシラン分子、シラン分子のSi表面吸着過程も調べ、特に、メチルシランやジシランの吸着・脱離では新しい水素吸着状態が存在することを明らかにした。溶液中のシリコン表面化学状態を赤外分光“その場”観察法で調べ、半導体電極に電圧をかけることによって表面のエッチングや酸化を制御できることを明らかにした。さらに、硫黄処理したGaAs表面上では、Ag金属を堆積するとエピタキシャル成長することを確かめた。GaAs表面で硫黄原子がどのように結合するかを赤外分光を用いたH₂S吸着実験によって調べ、硫黄はGaAs表面でGaと結合し易いことを実験的に初めて明らかにした。AgがGaAs上にエピタキシャル成長したのは、界面にGa-S-Ga結合が存在するためであることを明らかにした。

8. 複合機能材料研究分野

○目標

量子力学の第一原理に立脚した計算により、実際の物質における様々な現象に内在する原子スケールの素過程を解明し、ミクロな原理とマクロな現象のミッシング・リンクを発見することが目標である。さらにはその結果から、新現象・新物質の予言をめざし、新機能を有する材料・変調構造の創製を狙いとする。

○98年度の主な成果

- (1) Si(100)面上でのエピタキシャル成長では、水素の存在が成長した薄膜のモフォロジーを大きく左右する。密度汎関数法に基づく第一原理計算により、水素被覆Si(100)面での原子層ステップの構造と生成エネルギーを求めた。さらにSiアドアトムの拡散が二原子層ステップ付近では抑えられること、単原子層ステップ近傍には、アドアトムの深い捕獲位置があること、をつきとめた。STM像のシミュレーションを行い、微細なステップ構造の実験的同定の可能性を指摘した。
- (2) Si中の多原子空孔の構造安定性を第一原理計算によって定めた。6原子空孔、10原子空孔がとりわけ安定であること、すなわち魔法数であることが判った。これら多原子空孔は不純物の捕獲位置となることを指摘し、実際水素原子、水素分子が捕獲されることを全エネルギー計算から示した。分子の振動数の変調を計算し、赤外吸収、ラマン散乱のデータを説明した。
- (3) C₆₀フラレン固体は20GPaの圧力下で三次元フラレン・ポリマーとなることを第一原理計算から予言した。この相は炭素原子のみから成るにもかかわらず、金属であることが見出された。

固体電子工学研究分野

知的情報化社会の基盤を支える 新しい半導体デバイス・システムの研究

○分野の目標

固体電子工学研究分野では、高度情報社会の基盤となる超高速・超低消費電力・超高機能・高集積回路を実現するデバイス、回路、及び、アーキテクチャーの提案をめざして以下の4テーマに関する研究をしている。

近年の高集積回路は、高度情報社会を支えるキーデバイスの一つであると共に、日本の基幹産業となっている。従来、DRAM、CPU、Flash Memoryを初めとする高集積回路は、その寸法の微細化により、高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現し、電子・情報産業は近年急成長してきた。しかし、今後、ディープサブミクロンサイズのMOSデバイスに於いては、従来の延長の縮小化では、将来の超高性能集積回路システムを実現する事はできず、今後とも電子・情報産業の急成長を維持することは困難であると考えられている。

本研究室では、新しい構造、及び、動作原理に基づく超微細デバイス、回路、及び、アーキテクチャーに関する研究を行うことによって、現在の高集積回路に於ける高速動作、低消費電力動作、微細構造化を律速している問題に対して技術的ブレークスルーを起こす事をめざしている。また、MOSトランジスター物理的限界を材料的に決める薄膜ゲート絶縁膜における高品質化、及び、薄膜化の研究も行う。

研究テーマ

1. 高性能アクティブデバイスに関する研究
2. 超高速・超低消費電力な回路に関する研究
3. 高性能アーキテクチャーに関する研究
4. 薄膜ゲート絶縁膜における絶縁性劣化と破壊機構に関する研究

○過去一年間の主な成果

1) 高性能アクティブデバイスに関する研究においては、新しい3次元構造MOSデバイスに関する研究を推進した。本研究では、完全空乏型SURROUNDING GATE TRANSISTOR (SGT)におけるショートチャネル現象、及び、ショートチャネルSGTの静的動作特性を解析した。世界で初

めて、ショートチャネル現象におけるしきい値モデルを提案し、解析的に定式化した。具体的には、完全空乏化条件下であるので、チャネル表面とゲート電極、ソース電極、ドレイン電極とのキャパシタンスカップルと考え、チャネル表面ポテンシャルの変動を定量化した。これにより、SGTにおけるしきい値のチャネル長依存性を定量的に明らかにした。またSGTにおいて、シリコン柱を細く微細化するにつれて、ショートチャネル現象が抑制されデバイス特性が安定することが定量的に明らかにされた。更に、これらの結果を用いて、ショートチャネル領域における完全空乏型SURROUNDING GATE TRANSISTOR(SGT)の電流・電圧特性のモデルを提案し、解析的に定式化した。これにより、SGTの電流・電圧特性におけるチャネル長、ゲート酸化膜厚、シリコン柱半径等のデバイスパラメータ依存性を、世界で初めて定量的に明らかにした。

さらに、理想的なSファクタを実現するためのスケール理論を提案した。上記の研究結果により、従来の平面型MOSトランジスタと比較して、SGTは高駆動能力を有し、将来の超高速シリコン集積回路の基本素子として有望であることを示した。

また、メモリデバイスとして、Floating Channel Type SGT (FC-SGT) Flash メモリを提案した。このFC-SGT Flash メモリは、チャネル部がフローティングのためにFN電流によるチャネル全面両方向書き込み・消去が実現できることをしめした。更に、この書き込み・消去動作特性を解析的に定式化した。この解析モデルより、FC-SGT Flash メモリの書き込み特性は、平面型Flashメモリと比べて約2倍の高速性を実現できることを示した。

2) 超高速・超低消費電力な回路に関する研究及び、高性能アーキテクチャーに関する研究においては、少ない消費電力で大負荷電流を供給できる新しい降圧回路を提案した。本提案の降圧回路は参照電圧を発生する回路と降圧電圧の変動を抑制する新しい低消費帰還回路の2つの回路から構成されている。この帰還回路は、充放電電流で降圧電圧を安定化させるとともに、待機時においては

電力を消費しない。本提案の降圧電圧回路は、外部駆動電圧 5 V を 3 V に降圧させる条件下で、約 $100\mu\text{A}$ の消費電流で 50mA の負荷電流を駆動できることを回路シミュレーションにて確認した。この性能は、従来の降圧回路と比較して、負荷電流あたりの消費電流を約 1 % までの低減を可能にしている。さらに、待機時の消費電流は $1\mu\text{A}$ 以下であることも確認した。この研究結果より、大負荷電流を駆動できる低消費電力降圧回路を実現する新しいコンセプトと具体的な回路を提案した。以上により、この技術は、大きな負荷電流を低消費電力に駆動する必要のある高機能 ULSI において有効であることを示した。

3) 高性能アーキテクチャーに関する研究では、新しい 3 次元階層型メモリアレー技術を用いた Stacked-SGT (S-SGT) DRAM を提案した。この S-SGT DRAM は、複数の SGT 型セルを垂直に積み上げるにより形成される。この S-SGT DRAM は、新しい 3 次元階層型メモリアレー技術によって実現されている。4 セル積層した S-SGT DRAM は 1 セルあたりの面積を通常の DRAM の $12F^2$ に対して $1.44F^2$ とはるかに小さくできる。以上のことから、3 次元階層型メモリアレー技術が、将来の大容量 DRAM に適していることを定量的に明らかにした。

○職員名

教授 舩岡富士雄 (1994 年より)
 助教授 遠藤哲郎 (1997 年より)
 助手 桜庭弘 (1996 年より)
 助手 レンスキ・マルクス (1998 年より)

○教授のプロフィール

1971 年東北大学大学院工学研究科電子工学博士課程を修了。工学博士。1971 年 (株) 東芝に入社。1994 年退社。同 10 月東北大学情報科学研究科教授。現在東北大学電気通信研究所教授。研究分野は、集積回路を中心に半導体分野。今日に至るまで、2 層多結晶シリコンを用いた EPROM の発明で昭和 55 年度全国発明表彰発明賞を受賞、昭和 53 年度第 1 回渡辺賞を受賞、その他フィールドシールド、多層配線、DRAM、SRAM、EPROM 回路及びフラッシュ EEPROM 等の発明で関東地方発明表彰発明奨励賞を 5 回受賞、また、1995 年 1 月 1 日 IEEE Fellow Award となり、1997 年には、フラッシュ EEPROM 及び NAND 型 EEPROM の発明及び、技術の確立の功績により、IEEE より、MORRIS N. LIEBMANN MEMORIAL AWARD を受賞。

○過去一年間の発表論文、解説記事、著書
 [論文]

- (1) 遠藤, 神明, 舩岡, “3 次元階層型メモリアレー技術を用いた Stacked-SGT DRAM”, 電子情報通信学会論文誌, C-I, Vol. J81-C-I No.5, pp.288-289, 5 月, 1998.
 - (2) T.Endoh, K.Nakamura and F.Masuoka, “Evaluation of the Voltage Down Converter (VDC) with Low Ratio of Consuming Current to Load Current in DC/AC Operation Mode”, IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS, E81-C, No.6, pp.968-974, June, 1998.
 - (3) T. Endoh, K. Shinmei, H. Sakuraba and F. Masuoka, “The Analysis of the Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) DRAM for the High Speed and Low Voltage Operation”, IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS, E81-C, No. 9, pp.1491-1498, September, 1998.
 - (4) T.Endoh, K.Nakamura and F.Masuoka, “A High Performance Voltage Down Converter (VDC) Using New Flexible Control Technology of Driving Current”, IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS, E81-C, No.12, pp. 1905-1912, December, 1998.
 - (5)1 遠藤, 森, 桜庭, 舩岡, “完全空乏型 Double-Gate SOI MOSFET の短チャネル効果の解析及びブスケリング理論の提案”, 電子情報通信学会論文誌, C-I, Vol.J82-C-I No.2, pp.94-95, 2 月, 1999.
 - (5)2 遠藤, 森, 桜庭, 舩岡, “完全空乏型 Double-Gate SOI MOSFET の短チャネル効果の解析及びブスケリング理論の提案”, 電子情報通信学会論文誌, C-II, Vol.J82-C-II No.2, pp.72-73, 2 月, 1999.
 - (6)1 遠藤, 日置, 桜庭, 舩岡, “Floating Channel Type SGT Flash メモリ”, 電子情報通信学会論文誌, C-I, Vol.J82-C-I No.3, pp.134-135, 3 月, 1999.
 - (6)2 遠藤, 日置, 桜庭, 舩岡, “Floating Channel Type SGT Flash メモリ”, 電子情報通信学会論文誌, C-II, Vol.J82-C-II No.3, pp.126-127, 3 月, 1999.
- [学会]
- (1) 遠藤, 神明, 桜庭, 舩岡, “次世代超高速集積 DRAM の為の新しい三次元メモリアレイアーキテクチャ”, International Workshop on Advanced LSIs, 1998, pp. 237-242, Hokkaido Univ., Sapporo, Japan., July 23-24, 1998.
 - (2) 田辺, 梅谷, 藤原, 小倉, 片岡, 林田, 松尾, 桜庭, 遠藤, 舩岡, “全パターンを EB で露光した $0.2\mu\text{m}$

nMOSFETの試作” ,電子情報通信学会,信学技
報,SDM98-186(1999-01),pp.13-18,1月,1999.

分子電子工学研究分野

半導体プロセスの表面科学

—— 原子オーダー制御に向けて ——

本分野の目標

本分野ではSi系半導体プロセスにおける結晶成長・薄膜堆積の表面素過程を微視的に解明し、その知見をもとにプロセスの低温・高品質化を目指して研究している。これまでに超高真空中で表面化学反応を用いて成膜を行うガスソース分子線エピタキシー(GSMBE)法を開発し、高品質、高スループットのSi成膜を実現している。

GSMBE法は超高真空中でのプロセスなので、CVDでは不可能だった表面化学反応の「その場」観察が可能となる。とくに成長機構の理解に不可欠な表面水素の定量を昇温脱離観察によって実現し、これにより成長表面における原料ガスの吸着過程や水素脱離過程、およびその不純物効果をこれまでに明らかにした。現在、これらSi成長の表面化学に関する知見を高濃度n型ドーピング、SiC成長、およびプラズマCVDによる微結晶Si堆積に役立てるべく研究を行っている。

研究テーマ

1. ガスソース分子線エピタキシーによるSi系(Si, SiGe, SiC)薄膜の形成
2. Si熱酸化膜形成初期過程の解明と制御
3. 化合物半導体バルク点欠陥・表面欠陥の評価と制御
4. プラズマCVDによる微結晶シリコン太陽電池の開発

過去一年間の主な成果

(1)Si GSMBEに関する研究

本分野ではシランおよびゲルマンを用いたSi系GSMBEの成長機構に関し、特に表面水素の振る舞いに注目して研究を進めている。これまでに(a)成長温度約600℃を境として、水素脱離過程が律速の低温領域と原料ガス吸着過程が律速の高温領域とに分かれること、(b)成長中の水素脱離は水素分子として行われるにも関わらず1次反応過程であること、(c)Geの混入はSi表面の水素脱離過程を促進すること、(d)シランを用いたGSMBEの成長凍結表面からの水素脱離の反応次数が高次過程を含むこと、(e)成長凍結表面からの水素脱離機構がシランとジシランの場合で異なること、(f)シラン

およびジシランのSi(100)表面上への吸着過程は吸着温度によって変化すること、(g)水素脱離律速である低温領域の成長速度活性化エネルギーは水素脱離エネルギーそのものとは異なり、吸着と脱離のバランスから決定されること——等を明らかにしている。

今年度は重要な成長素過程の一つであるSi表面からの水素脱離過程を詳細に調べ、従来1次反応過程とされてきた同過程が水素化ガスの種類、および吸着表面の熱履歴によっては高次反応過程となることを初めて明らかにした(文献2)。

またSiGSMBEにおける重要なn型ドーピングプロセスであるフォスフィンその場ドーピング過程の表面化学についても詳細に調べ、Si表面上のPは(a)脱離エネルギーの増大、および(b)反応次数の高次化という2因子を通して水素脱離を抑制すること(文献3)、およびSi表面Pのサイトにはシランおよびジシラン分子が吸着できないことを明らかにした(文献1)。

(2)Si初期酸化過程に関する研究

Si表面の初期酸化過程をその場光電子分光法で観察し、酸化温度650℃以下ではラングミュア吸着型、それ以上では二次元核成長型の酸化モードを示すことをこれまでに明らかにしている。本年度はこれら一見まったく異なる振る舞いを見せるSi初期酸化過程を統一的に記述する自己触媒酸化モデルを提案し、表面酸化物アイランドの二次元核成長に関する重要な知見を得た(文献6)。さらに放射光を用いた高分解能リアルタイム光電子分光実験を行い、(100)初期酸化過程の微視的モデルを得た(文献4)。

(3)半絶縁性GaAs中の深い準位に関する研究

半絶縁性GaAs基板の実現に主要な役割をはたすEL2に関し、100K以下での光照射によりEL2が消失するフォトクエンチング効果を取り上げ、その微視的機構の解明を行っている。これまでに(1)従来EL2準位単独で起こると考えられてきたフォトクエンチング効果が、実は深いアクセプタ型準位の荷電状態変化が引き金となって起こっているらしいこと、(2)それゆえEL2は複合欠陥である可能

性が高いこと、を明らかにしている。本年度は(1)で存在を予言したホールトラップを磁場印加熱刺激電流法により検出することに成功した(文献5)。

職員名

助教授 末光真希 (1990年より)
COE非常勤研究員 中澤日出樹

過去一年間の発表論文

1. Y. Tsukidate and M. Suemitsu Adsorption of SiH_4 or Si_2H_6 on P/Si(100) at room temperatures, Appl. Surf. Sci., 130-132(1998), pp.282-286.
2. H. Nakazawa and M. Suemitsu Higher-order desorption kinetics of hydrogen from silane/, disilane/, and D/Si(100), Appl. Surf. Sci., 130-132(1998), 298-303.
3. M. Suemitsu, Y. Tsukidate, and H. Nakazawa Effects of Surface Phosphorus on the Kinetics of Hydrogen Desorption from Silane-adsorbed Si(100) Surface at Room Temperatures, J. Vac. Sci. Technol., A16(1998), pp.1772-1774.
4. Y. Enta, Y. Miyanishi, H. Irimachi, M. Niwano, M. Suemitsu, N. Miyamoto, E. Shigemasa, H. Kato Real-time core-level spectroscopy of initial thermal oxide on Si(100), J. Vac. Sci. Technol., A16(1998), pp.1716-1720.
5. M. Suemitsu, Y. Sagae, and N. Miyamoto Thermally stimulated-current observation of hole traps in undoped semi-insulating GaAs and their photoquenching behavior, J. Appl. Phys., 85(1999), pp.3139-3141.
6. M. Suemitsu, Y. Enta, Y. Miyanishi, and N. Miyamoto Initial oxidation of Si(100)-2x1 as an autocatalytic reaction, Phys. Rev. Lett., 82(1999), pp.2334-2337.

スピントロニクス研究分野

磁気物性制御技術の確立と 高機能磁気デバイスの開発

分野の目標 本分野では、磁性薄膜をキーマテリアルとしたマイクロデバイスの微細加工プロセスを開発し、情報通信機器に数多く使用されているバルク状のコイル、トランス、鉄心をマイクロ化・集積化した磁気デバイスに置換し一層の小型化・高機能化を推進するとともに、次世代情報通信機器やブレインコンピュータの入出力インターフェースに関わるマイクロ磁気センサ・アクチュエータシステムを具現化してゆく。これによって、携帯情報端末機器やインターネットの普及で益々加速している高密度高速度情報通信への社会ニーズに応えて行く。

磁性体の高周波特性はナノメートルオーダの磁氣的微細構造のゆらぎに支配され、デバイスの微細化の極限は結晶粒サイズに強く依存することなど、次世代材料の開発にはナノメートルオーダの磁気物性、微細構造の解明と制御技術の開発が重要である。デバイス面からのガイドラインは、磁性体の高周波利用（～3GHz程度）と磁気デバイスの微小化である。

すなわち本分野の目標を達成するため、磁気発生の根元である電子スピンのオーダを意識した微細構造の解明とこれに立脚した新材料（スピニクマテリアル）の開発が重要である。これを機軸に、デバイスプロセス、設計法ならびに測定技術などを総合的に推進し、電子スピンとエレクトロニクスを融合させた高度高機能デバイスシステムを実現する。

過去1年間の主な成果

(a)軟磁性薄膜のマイクロパターン化技術

携帯電話などのアナログ高周波回路では空心スパイラルコイルが多用されており、その小形化と低損失化が重要な課題となっている。軟磁性薄膜を用いて磁性薄膜インダクタを形成すればこの2つの問題を同時に解決できる可能性があるが、そのためには携帯電話のキャリア周波数である1GHz前後において強磁性共鳴が生じないような高周波軟磁性薄膜材料が必要である。本年は、軟磁性薄膜の磁化容易軸方向に細いスリットを設けこれを困難軸方向に励磁することによって、スリットによって分割された磁性薄膜素片間の実効的な反磁界を制御する方法を開発した。このマイク

ロパターンニングによって、膜本来の強磁性共鳴周波数が1GHz以下であっても1GHz帯で低損失で使用可能な膜を得られることが明らかになり、GHz帯磁性薄膜開発に新たな指針を見出すことができた。

(b)GHz駆動薄膜インダクタ

(a)のマイクロパターン化磁性膜を用いた1GHz駆動薄膜インダクタにおいて、同一寸法の空心とQ値が同等でインダクタンスの高いものを得ることができた。これによって、GHz帯における軟磁性薄膜の応用という新しい研究分野ならびに産業応用分野が拓かれつつある。

(c)マイクロ磁気センサ

1mm程度までの小形化を目標とした高周波キャリア型高感度磁気センサの試作を行った。SmCo薄膜磁石上にセンサ素子を積層することでバイアスコイルを不要とし、数mm角まで小形化したセンサデバイスを実現した。また、センサ材料及び形状に関する設計指針を明らかにし、磁性膜の多層化等による異方性制御を通したセンサ素子の小形・高感度化の検討に入った。

(d)磁気マイクロマシン

生体内駆動を目指す螺旋構造の磁気マイクロマシンについて流体中駆動の動作解析を有限体積法によって行い、マシンの推進特性を最適化するためのブレード角の設計指針などを明らかにした。このマシンは柔らかい固体中の駆動も可能であることを示し、生体組織中駆動への道を拓いた。磁気マイクロマシンは、構造が単純でコードレス駆動できることから新規応用も視野に入れ、医学部、工学部、流体科学研究所、東北公済病院などと共同で引き続き検討中である。

(e)薄膜磁気機械結合素子

異方性制御したFeCoSiB薄膜を用いて、逆磁歪効果を利用した新しい歪みセンサ素子を開発した。この素子は極めて高い感度と良好な周波数特性を有し、この素子とPZTとを組み合わせたスマートアクチュエータは、200Hzまでの線形駆動を実現した。

(f)超高周波磁気計測およびEMC計測技術

本研究室で提案した多層平面コイルを用いて、磁性薄膜の1MHz-3.5GHz全自動透磁率測定システ

ムを実用化した。この透磁率測定装置を用いて高密度磁気記録ヘッドなどの微細な磁性薄膜を評価するために、SN比の向上を図った。

また上記の多層平面コイルは従来のプローブでは困難であった高分解能高周波磁界計測が可能であることから国内外で注目を集めており、国内約10のEMCの研究機関・大学へ研究用として配布するとともに、製品化もなされた。IEC(International Electrotechnical Commission)へ「集積回路からの放射性電磁雑音測定用磁界プローブ」として規格提案も行っており、早ければ1999年中には可否が採決される見通しである。

さらにこの多層平面コイルを薄膜微細加工プロセスにより作製し、 $300\mu\text{m}$ の空間分解能を有する近傍磁界計測が可能であること、LSI回路近傍の高分解能磁界計測に有用であることを示した。

(g) その他

研究開発では地元並びに中央の企業との共同開発を積極的に進めている。公的機関の研究プロジェクトにも積極的に参加している。スピニクス研究センターをはじめとする本所の施設を活用しながら微細領域における磁気物性探求とデバイスシステム化に引き続き取り組む予定である。

職 員

教 授 荒井賢一 (1986年から)
 助教授 山口正洋 (1991年から)
 助 手 石山和志 助 手 薮上 信
 助 手 竹澤昌晃 技 官 我妻成人
 技 官 師岡ケイ子
 医薬品機構派遣研究員 金 栄学、栢 修一郎

研究テーマ

1. 高機能スピニクス材料の創製
2. 集積化マイクロインダクティブコンポーネント
3. 室温・超高感度マイクロ磁気センサ
4. 生体内駆動用磁気マイクロロボット
5. 超高周波磁気計測技術

荒井賢一教授のプロフィール

1966年3月 東北大学工学部電子工学科卒業
 1971年3月 同学大学院工学研究科博士課程修了

1971年4月 同学助手、電気通信研究所
 1975年4月 同学助教授、電気通信研究所
 1986年4月 同学教授、電気通信研究所

主として軟質磁性材料の研究およびマイクロ磁気デバイス、マイクロ磁気センサ、アクチュエータ等のスピニクスデバイスの研究に従事。市村賞受賞。電気学会A部門長、日本応用磁気学会企画委員長。

過去1年間の主な発表論文

1. Trial on-silicon micromagnetoelastic devices, M. Takezawa, M. Yamaguchi, K. Ishiyama, K. I. Arai, J. Appl. Phys., vol.83, No.11, pp. 7303-7305 (1998).
 2. High Frequency Carrier Type Bridge-Connected Magnetic Field Sensor, M. Takezawa, H. Kikuchi, K. Suezawa, M. Yamaguchi, K. Ishiyama, K. I. Arai, IEEE Trans. Magn., vol.34, No.4, pp. 1321-1323 (1998).
 3. Preparation and Properties of Elastically Coupled Electro-Magnetic Elements with a Bonding Structure, K. H. Shin, M. Inoue, K. I. Arai, IEEE Trans. Magn., vol.34, No.4, pp. 1324-1326 (1998).
 4. A Theory for Analyzing the Flap Motion of Wings of Small Flying Elements Driven by a Magnetic Torque, K. Simasaki, M. Inoue, K. I. Arai, IEEE Trans. Magn., vol.34, No.4, pp. 2096-2098 (1998).
 5. Effect of rolling condition on textures and magnetic properties in thin grain-oriented silicon steel sheets, M. Nakano, K. Ishiyama, K. I. Arai, H. Fukunaga, J. Phys. IV France 8, pp. Pr.2-543-Pr.2-546 (1998).
 6. Huge Enhancement of Magneto-optical Farady Effect in YIG Films with Multilayer Structures, M. Inoue, K. I. Arai, M. Abe, J. Mag. Soc. JAPAN, vol.22, Supplement, No.S1, pp.141-143 (1998).
 7. 生体内で自律動作可能な医用インテリジェント磁気マイクロロボットの開発, 荒井 賢一、計測と制御, 第37巻, 第12号, pp.873-874 (1998).
- 他、論文14編。解説記事1件

情報記録デバイス工学研究分野

磁性薄膜のナノスコピック物性の研究と
その大容量磁気ストレージデバイスへの応用研究

【分野の目標】

情報ストレージの一貫した目標はその高記録密度化にある。最近では一平方インチ当たり10ギガビット（一平方ミクロン当たり16ビット）の記録面密度に達し、さらに5年で10倍の早いペースを保って進歩している。これは大容量情報ストレージの旺盛な需要を背景にしており、さらなる高密度化・大容量化が強く求められている。これに応えるには磁気ストレージデバイスの飛躍的な性能向上が必須であるが、すでに最先端のデバイスではサブミクロンの微小構造を制御して作製されており、これまでの延長での性能改善には原理的にも技術的にも限界がある。今後は、ナノスコピックレベルでの磁性薄膜物性の本質を踏まえた研究による新しいデバイス研究が必須である。

本分野では垂直磁気記録方式を提案してその優れた高記録密度性を理論と実験を通じて実証してきている。同時に、このためのデバイス研究も積極的に進め、高分解能単磁極ヘッドと高密度垂直媒体を用いて実際の記録再生特性を通じた研究成果を蓄積している。これらの実績を踏まえて、上述のナノスコピック磁性の学理の確立と、それによる超高密度垂直磁気記録を達成するための高感度性、高分解能性、高速性を備えたストレージデバイスの実現を目指して研究を続けている。

これらの観点から、本分野では最も重要なストレージデバイスであるヘッドディスクを中心に検討を行うとともに、これまでのストレージデバイス研究では必ずしも十分でなかった微細磁気物性とデバイス性能の関連についても積極的な研究を行っている。以下に主な成果を示す。

【過去一年間の主な成果】

1. 高分解能垂直磁気ヘッドの研究

1-1 薄膜導体励磁型単磁極ヘッドの試作

一昨年度より試作を進めてきた薄膜導体励磁型の単磁極ヘッド試作は前年度に完了したが、本年度はプロセスの改良を加えながら試作を継続した。その結果、前年度より薄膜リターンポール型ヘッドの記録感度が向上しており、フェライト基板上に成膜したバルクフェライトリターンポール型には未だ及ばないものの、50mA程度の記録電

流でも飽和記録できる段階に達した。MR（あるいはGMR）素子とのマージ化を考えると薄膜型のリターンポール構造が実用ヘッドとして必須であると考えており、今後もより高記録感度化を試みる予定である。

また、本単磁極ヘッドの特長である低インダクタンス性についても、その絶対値は極めて小さいのでより高精度の測定が必要であった。また、実動作状態では二層膜記録媒体の軟磁性裏打ち層のためにインダクタンスが変化する可能性もある。スピンエレクトロニクス研究分野の指導を得てより高精度の測定を試みた結果、インダクタンスはほぼ1nHと極めて小さい値であることが改めて示された。また、このインダクタンスはヘッド磁極を飽和させて状態でも低下量が小さい。これは磁性体によるインダクタンス寄与はまだ小さく、本ヘッドのインダクタンスはボンディングパッドに至るリードパターンの影響の方が大きいことを意味している。さらに、記録媒体を近接させた場合でもインダクタンスの増加量は小さいので、実動作状態でも低インダクタンス性が保たれていると言える。

1-2 単磁極ヘッドの高感度設計

上述の薄膜導体励磁型の単磁極ヘッド構造についてリターンポール厚さやリターンポールと主磁極間隔などについて記録感度やヘッド磁界強度との依存性を有限要素法シミュレーションを用いて調べた。

まずリターンポール厚さについては現状の試作ヘッドのリターンポール厚さの3 μm から1 μm 程度まで薄膜化しても磁界強度の低下は認められなかった。この結果は、単磁極ヘッドとのマージ化の際には現行高感度MRヘッドが使用できることを示している。また、主磁極とリターンポール間隔を現状の1.9 μm から4.9 μm まで大きくしても、記録感度、磁界強度ともにほとんど変化せず依存性が小さい。一方、これからの記録媒体の高保磁力化に対して、単磁極ヘッドの記録磁界強度の改善は必須である。最近のFe系の軟磁性材料には20kG近い高飽和磁束密度が期待されるものがあるので、ヘッド主磁極と裏打ち層の高飽和磁束密度化

によるヘッド磁界強度の改善効果を計算したところ、これらの軟磁性材料の高飽和磁束密度化はヘッド磁界を大きくするのに効果があることが示された。

2. 高安定・低ノイズ垂直磁気記録媒体の研究

2-1二層膜媒体におけるTi中間層の厚みの低減と磁気特性

記録層の微細構造を制御するためには、記録層の構造を制御するシード層を用いることが有用であるが、一般に用いられるTi膜などのシード層の厚みは50nm以上と厚いため、二層膜媒体では、Ti層の挿入による裏打ち層と記録層の間のスペース形成が記録分解能を低下させてしまう点が指摘されている。そこで、Ti膜をシード層に用いたCoZrNb/Ti/CoCrTa二層膜媒体を作製し、Ti層の厚みの低減と微細構造・磁気特性との関係を検討した。

まず、5nmのTi膜によりCoCrTa垂直磁気記録媒体の保磁力は急激に増加した。このときに、磁化曲線の角型比はTi膜の挿入により2.5倍程度増加し、それ以上のTi膜厚ではほぼ一定の値を示した。このようなTiシード層がCoCrTa記録層の磁気特性に与える効果は、記録層の膜厚が薄いほど顕著であったが、5nm以上のTiシード層厚では、Ti厚の違いによる磁気特性の違いは観察されなかった。このように、高い基板温度でTi膜を製膜することで、一般に用いられているTiシード層の厚みよりも1桁程度薄い5nm程度のTiシード層厚において、保磁力、角型比などの媒体の静磁気特性を改善することが可能であることを見出した。このような磁気特性の変化は、媒体の磁気異方性、および構造の変化と強く結びついていることも明らかにできた。

このTiシード層を有する媒体では、5nm程度の厚みで出力が3倍程度増加し、その以上の厚さでは徐々に低下しており、薄いTiシード層の挿入が媒体の高出力化に効果的に作用していることがわかった。しかも、Tiを5nm程度挿入したことによる D_{50} 値の低下は観察されなかった。これらの結果から、Tiシード膜を用いた記録層の構造制御は、高密度な二層膜媒体を実現する上でも有用な手法になりうると期待している。

2-2垂直二層膜媒体における再生減磁に対する外部磁界の影響

垂直二層膜媒体磁気記録においては、比較的弱い外部磁界により主磁極先端に強い磁界集中を起こして記録磁化の減磁を引き起こすことが懸念さ

れ、実用上の大きな課題となっている。これは、単磁極ヘッドが開磁路であり、裏打ち層と強い磁気結合によって高い記録感度を実現していることによる。しかし、ヘッド磁極高さを低減する単磁極記録ヘッドの磁極構造の改善とともに媒体裏打ち層透磁率を適当な値（比透磁率が100程度）とすることで、外部磁界による主磁極先端の磁界集中が緩和され、再生減磁の可能であることを計算から明らかにしている。これを実験的に示すために、比較的大きな保磁力を持つFe-Si-Al膜（比透磁率は600程度）を裏打ち層とする記録媒体を試作して、その外部磁界下での減磁特性を測定した結果、Fe-Ni-Nb高透磁率膜に比べて減磁が改善され、20Oeの外部磁界下で数%の減磁にとどまることを明らかにした。

【職 員】

教授 杉田 愼（1997年より）

助教授 村岡 裕明（1992年より）

助手 渡辺 功

助手 島津 武仁

【教授プロフィール】

昭和35年東京大学理学部物理学科卒、同年(株)日立製作所中央研究所、昭和60年同社日立研究所、平成3年同社中央研究所、平成9年東北大学電気通信研究所教授。磁性薄膜、磁気バブルメモリ、薄膜磁気ヘッド、等の研究・開発及び実用化、並びに縞状磁区構造の発見、窒化鉄の巨大飽和磁化など磁性体物理学研究に従事。日本物理学会、電子情報通信学会、日本応用磁気学会、IEEE、各会員。理学博士。日本応用磁気学会会長。IEEEフェロー。

【研究テーマ】

1. 高分解能・広帯域単磁極ヘッドの研究
2. 低ノイズ垂直磁気記録媒体の研究
3. 高密度薄膜媒体の熱磁気緩和に関する研究
4. 多層膜超高感度磁界センサ素子の研究
5. 磁性薄膜物性の研究

【主な研究発表】

1. S.J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Interlayer Coupling and Size Effects in Spin-Valve Films", J. Magn. Soc. Jpn, 22, pp.517-520(1998)
2. 高橋宏昌, 小室又洋, 杉田愼, "Fe₁₆N₂単結晶膜の低温X線回折および巨大磁気モーメントの確認", 日本応用磁気学会誌, 22, pp.425-428(1998)
3. 小室又洋, 星野裕之, 川戸良昭, 中本一広, 目黒賢一, 岡田智弘, 濱川佳弘, 府山盛明, 福井宏, 杉田愼,

- “CrMnPt反強磁性膜を用いたスピバルブ”, 日本応用磁気学会誌, 22, pp.509-512(1998)
4. H. Takahashi, M. Komuro, M. Hiratani, M. Igarashi, Y. Sugita, “Anomalous Hall resistivities of single-crystal Fe_{16}N_2 and Fe-N martensite films epitaxially grown by molecular beam epitaxy”, J Appl. Phys., 84, pp.1493-1498(1998)
 5. J.C.Lodder, D.J.Monsma, R.Vlutters, T.Shimatsu, “The Spin Valve Transistor : Technologies and Progress”, MML/EMRS 1998 Symposium
 6. 姜文紅, 村岡裕明, 杉田愼, 中村慶久, “垂直二層膜媒体における再生減磁に対する単磁極ヘッドの影響”, 日本応用磁気学会誌, 22, pp.277-280(1998)
 7. W.H. Jiang, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, “Thermal Relaxation in Perpendicular Double-Layered Media”, IEEE Trans. Magn., 34, pp.1645-1647(1998)
 8. T. Shimatsu, R.H. Mollema, D. Monsma, E.G.Keim, J. C. Lodder, “Metal bonding during sputter film deposition”, J. Vac. Sci. Tech. A, 16, pp.2125-2131(1998)
 9. R. Nakatani, H. Hoshiya, K. Hoshino, Y. Sugita, “Exchange Coupling in (Mn-Ir,Fe-Mn)/Co/Ni-Fe Multilayers”, Jpn. Appl. Phys., 38, Part 1, No.2A, pp722-723(1999)

光電変換デバイス工学研究分野

表面界面物性の研究と光電変換デバイスへの応用

○光電変換デバイス工学分野の目標

固体表面における光と電子の相互作用を研究し、光電変換デバイスの基礎となる表面物性と固体表面で起こる物理・化学現象を探索することが本分野の現在の目標である。原子・分子レベルで表面の物理・化学現象を理解し、その結果を原子レベルで制御された機能性表面・界面および薄膜の作製、発光素子の開発、光エネルギー変換などに応用する。また表面超微細構造の物性を計測しそれを工学的に応用する方法を開発することも目標としている。

○過去1年間の主な成果

本分野では走査型トンネル顕微鏡(STM)の発光分光、レーザー・ラマン分光、フーリエ変換赤外吸収分光(FT-IR)、第二次高調波発生(SHG)、高分解能電子エネルギー損失分光(HREELS)などの測定手段を用い、表面・界面物性の研究を行っている。過去1年間に得られた研究成果を研究テーマ別に述べる。

1. 半導体量子井戸構造のSTM発光

STM発光分光は半導体量子構造の局所的な光物性を探る有力な手段として注目されている。この手法により個々の量子構造のサイズや形状とその発光特性の関係を明らかにするためには、STM像と発光スペクトルを同じ条件で測定する必要がある。本分野では、AlGaAs/GaAs量子井戸劈開面の個々の量子井戸のSTM発光スペクトルをSTM像観測時のトンネル電流で測定することに成功した。

試料は2.5nmから50nmまでの様々な幅をもつGaAs井戸層と40nm幅の $\text{Al}_{0.38}\text{Ga}_{0.62}\text{As}$ 障壁層を交互に積層した量子井戸構造で、分子線エピタキシー法により作製した。この試料の(110)劈開面のSTM像には量子井戸構造に対応したコントラストが明瞭に現れる。発光スペクトルの測定は、探針を任意のGaAs層およびAlGaAs層上に固定して行った。実験の結果、通常のSTM像計測に用いられる0.5nAという非常に低いトンネル電流で発光スペクトルが測定できることを見だし、井戸幅に応じて発光ピークがシフトすることを確認した。量子井戸構造のサブバンドエネルギーの計算から、

観測された発光はGaAs層のサブバンド基底準位間の遷移に対応することがわかった。また、これらの発光強度は探針がGaAs層からAlGaAs層に移動すると急激に減少する。これはSTM発光分光が半導体量子構造の光学特性をnmオーダーの空間分解能で調べることができることを示唆するものである。

2. 原子分解能をもつSTM発光分光

従来、いくつかの試料系では原子サイズの探針位置の違いによりSTM発光強度が変化することが報告されている。しかし、その変化をもたらす原因が探針位置の違いによる試料-探針間の距離(ギャップ長)の違いによるものか、局所的な試料表面の電子状態を反映したものかは不明であった。我々はSTM発光分光実験をAu(110)-(2x1)表面で原子レベルの位置分解能で実施し、計測されたスペクトルを探針の幾何形状を考慮したSTM発光理論と比較した。その結果、探針を原子列上に固定した場合の発光スペクトルは理論予想と一致した。これはこの発光がトンネル電子により励起されたローカルプラズモンからのものであることを示す。しかし、探針をそれよりわずか0.4nm離れた原子列間に固定した場合には、このローカルプラズモンからの発光に重畳して、別の発光構造(エクストラ・ピーク)が観測された。すなわち、原子サイズの探針位置の違いがSTM発光スペクトルに相違をもたらすことを発見した。ローカルプラズモンのサイズは原子列間の間隔(0.8nm)よりもはるかに大きいので、このエクストラ・ピークは原子レベルの位置の違いによる試料表面物性の変化を反映していると結論される。

3. 時間分解能をもつSTM発光分光

光計測の分野では高時間分解能のための方法が多数開発されており、それらをSTM発光分光に取り入れることにより、原子レベルの位置分解能と高い時間分解能を兼ね備えた計測手法の開発が期待される。この実現のためには発光の励起源となるトンネル電流と発光計測系の間の時間的な同期とをすることが必要となる。ピコ秒のレーザーパルスでSTMの探針-試料近傍に照射しながらSTM発

光をレーザーと同期したストリークカメラで計測した。その結果、レーザーパルスと同期したSTM発光が観測された。詳細な解析の結果、ピコ秒レーザーパルスによりピコ秒のトンネル電流が誘起され、これがSTM発光を励起していることが結論できた。ピコ秒のレーザー、STM、そして分光ストリークカメラを組み合わせるにより、表面微細構造物性の研究が、原子レベルの位置分解能、meVのエネルギー分解能、ピコ秒の時間分解能で行うことを可能にした。

4. 液晶分子の光配向

直線偏光紫外光をポリイミド膜に照射することにより、その膜上の液晶分子を偏光方向に対して垂直に配向させることができる。この方法は従来のラビング法に代わる液晶分子の配向処理法として注目されている。直線偏光紫外光をポリイミド膜に照射すると偏光方向に平行に配向した高分子鎖が優先的に分解するので、膜に異方性が誘起される。液晶分子はこのポリイミド膜の異方性によって配向する。液晶分子とポリイミド膜との相互作用は両者の界面で起こるので、液晶分子の配向を支配しているのはポリイミド膜表面の異方性である。そこで、直線偏光紫外光を照射することによって誘起されるポリイミド膜表面の異方性とその照射エネルギー密度の関係を偏光赤外分光法を用いて調べた。その結果、ポリイミド膜表面の異方性は2つのポリイミド分子鎖の分解レート（紫外光の偏光方向に対して平行、垂直に配向している高分子鎖の分解レート）を仮定することによって記述できること、また赤外二色差が液晶分子の配向と関連していることがわかった。

○職員名

教授	潮田 資勝 (1985年より)
助教授	上原 洋一 (1992年より)
助手	坂本 謙二
助手	鶴岡 徹
COE研究員	岩見 正之
JST研究員	David BOTTOMLEY
JST研究員	荒船 竜一

○潮田教授のプロフィール

潮田教授は、ラマン散乱によるポラリトンの研究でペンシルバニア大学大学院理学研究科で1969年に博士号を取得後、カリフォルニア大学アーバイン校理学部物理学科において助教授、準教授、教授を歴任した。この間ラマン散乱による固体表面励起の研究およびトンネル接合の発光機構の研

究を進めた。1985年に東北大学に赴任し、現在はラマン散乱およびトンネル接合発光の研究に加えて、走査型トンネル顕微鏡の発光の研究、電子エネルギー損失分光法、第二次高調波発生法、赤外分光法などによる表面物性の研究を行っている。1996年にはアメリカ物理学会のフェローに選出された。

○過去1年間の発表論文、解説記事、著書

<発表論文>

1. Surface Anisotropy of Polyimide Film Irradiated with Linearly Polarized Ultraviolet Light, K. Sakamoto, K. Usami, M. Watanabe, R. Arafune, and S. Ushioda, Appl. Phys. Lett. **72**, 1832-1834 (1998).
2. Light Emission Spectra of AlGaAs/GaAs Multi-quantum Wells Induced by Scanning Tunneling Microscope, T. Tsuruoka, Y. Ohizumi, S. Ushioda, Y. Ohno, and H. Ohno, Appl. Phys. Lett. **73**, 1544-1546 (1998).
3. HREELS Analysis of the Vibrational and Electronic Properties of GaN Film on Sapphire (0001) Grown by Metalorganic Chemical Vapor Deposition, T. Tsuruoka, N. Takahashi, R. Franchy, S. Ushioda, Y. Naoi, H. Sato, S. Sakai, and Y. Shintani, J. Cryst. Growth **189-190**, 677-681 (1998).
4. Preparation of Silver Tips for Scanning Tunneling Microscopy Imaging, M. Iwami, Y. Uehara, and S. Ushioda, Rev. Sci. Instrum. **69**, 4010-4011 (1998).
5. Importance of Rubbing-induced Inclination of Polyimide Backbone Structures for Determination of the Pretilt Angle of Liquid Crystals, R. Arafune, K. Sakamoto, S. Ushioda, S. Tanioka, and S. Murata, Phys. Rev. E **58**, 5914-5918 (1998).
6. Determination of the Molecular Orientation of Very Thin Films on Solid Substrates: Surface Liquid Crystal Layers and Rubbed Polyimide Films, K. Sakamoto, N. Ito, R. Arafune, and S. Ushioda, Vibrational Spectroscopy **19**, 61-69 (1999).
7. Evidence for Liquid Indium Nanoparticles on Ge (001) at Room Temperature, D. J. Bottomley, M. Iwami, Y. Uehara, and S. Ushioda, J. Vac. Sci. Technol. B **17**, 12-21 (1999).

<解説記事>

1. 偏光赤外分光法によるラビングされたポリイミド膜の配向解析, 荒船竜一, 坂本謙二, 潮田資勝, Molecular Electronics and Bioelectronics (応用物理学会, 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会誌) **9**, 186-191 (1998).

複合機能材料研究分野（客員分野）

第一原理計算と複合機能材料への応用

分野の目標

新現象の発見、新材料の創出は科学における大きなチャレンジであるが、それに加えて、デバイス工学にまで視野を広げ、新しい機能性を有する新材料、変調ナノ構造の発見をめざすのが、本研究分野の目標である。この目標のためには、現象を原子スケールで解明し、ミクロな原子反応の素過程とマクロな現象との間のミッシング・リンクを見出すことが不可欠である。当研究分野では、このミッシング・リンクの発見のために、量子力学の第一原理に立脚した理論計算を研究の柱としている。すなわち、量子力学の基本方程式を、数学的手法の開拓、コンピューテーション手法の開発、によって可能な限り正確に解き、自然現象を決定している基本的な原子プロセスの解明を行っている。さらに計算結果と実験結果との詳細な検討による、深い現象の理解を目指している。こうした研究活動を通して、逆に理論手法の問題点を明らかにし、理論物理学のフロンティアをひろげることがもスコープのひとつである。

具体的には主に半導体材料を中心に計算が行われている。また計算手法的には、現在は密度汎関数法が主なる理論ツールである。電子相関の効果は局所密度近似（Local Density Approximation: LDA）あるいは一般化密度勾配近似（Generalized Gradient Approximation: GGA）で取り入れられている。励起状態計算、ダイナミクス of 直接計算、超大規模計算、のための新手法の開拓も並行して行っている。1998年度は大規模計算の遂行のために、精度的には若干劣るがタイト・バインディングモデル（パラメータは密度汎関数法による幾つかの結果を再現するように定める）を用いた、オーダー（ N ）法（計算時間が対象とする系のサイズ N に比例するような計算方法）を密度行列法に基づいて新たに開発し、Si 表面上のステップ生成エネルギーのテラス幅依存性を調べた。

1998年度の主な成果

(1)シリコン・エピタキシャル成長の機構：

水素化Si(100)面上でのエピタキシャル成長では、水素の存在が成長した薄膜のモフォロジーを大きく左右し、ヘテロエピタキシャル成長では、

水素のサーファクタント効果も見出されている。この水素被覆 Si(100)面でのSi飛来原子（アドアトム）の、テラス上およびステップ近傍での拡散機構を、第一原理計算（局所密度近似）によって調べた。昨年度に見出された結果として、(1)Si原子は表面上の水素を置換して吸着すること、(2)テラス上の拡散は水素の捕獲・放出を伴う、複雑な原子プロセスであること、(3)計算された拡散の活性化エネルギーは報告されている実験結果と定量的に一致し、また上述のモフォロジーの変化を無理なく説明すること、を報告した。今年度はさらに成長現象に関係深いステップ近傍での拡散を調べた。まずステップそのものの構造を計算で決定した。清浄な表面でのステップ構造と水素化表面でのそれとは、構造的特徴が異なることを見出した。STMイメージの計算を行い、実験的な検証を期待している段階である。水素被覆による構造的影響のひとつは、清浄表面上のステップでは顕著であった、ステップ端での再ボンド生成がみられないことである。このことがSiアドアトムの拡散にどのような影響を与えるかを調べた。まず単原子層ステップの周辺での拡散経路を決定し、その経路に沿った活性化エネルギーを求めた。その結果、ステップ端近傍での付加的な活性化エネルギーの増加はないことが明らかになった。これは従来から信じられてきた Schwoebel Barrier というものが単原子層ステップには存在しないことを示している。しかしステップ端の下方テラス側に極めて深いシンク（アドアトムの捕獲場所）が存在することが判った。ステップ・フロー成長のモフォロジーを議論する上での、初めての理論計算側からのデータと云える。同様の計算を2原子層ステップ近傍の拡散に対しても行い、詳細な拡散経路と活性化エネルギーの値を得た。

(2)Si(100)面上ステップの生成エネルギー

ステップの生成エネルギーは、ステップ間の距離（テラス幅）に一般的に依存する。特に（100）面上ではテラスでのダイマー形成による歪みエネルギーの影響で、何種類かのステップ構造の相対的な安定性が、テラス幅に依存して変化するはずである。これについては、弾性論あるいは古典的

原子間ポテンシャルによる計算が行われてきた。今回初めて、ステップ生成エネルギーのテラス幅依存性に対する、量子論的な計算を行った。計算にはタイト・バインディング模型を用いた。模型のパラメータは、密度汎関数法計算によるいくつかの構造に関する結果を再現するように定めた。テラス幅依存性を見るために大規模な計算（数千個の原子群）を行う必要があるため、新たにオーダーNの計算法を開発した。これは有効シュレディンガー方程式を直接解く代わりに、密度行列を導入し、自由エネルギーを密度行列の汎関数として最小化する方法である。密度行列がある種の局所性をもっているため、計算をオーダーNにすることができる。Si(100)面上での単原子層ステップ、2原子層ステップに関して計算を実行し、系統的な生成エネルギーの変化を得た。

(3)Si中の多原子空孔とその水素化：

半導体中の原子空孔V(vacancy)は、たとえ微量でも、母半導体の物性に大きな影響を与え、また科学的には、特徴的な格子緩和とそれに伴う電子状態の変化を示し、長年多くの研究が成されてきた。ただしそれらは単原子空孔、複原子空孔におおむね限られており、疑いなく存在しかつ重要な多原子空孔(multi-vacancy)についての知識は殆どない。今回我々はまず、上記タイト・バインディング模型での多原子空孔の生成エネルギー計算を実行し、安定な原子空孔のサイズ(負のクラスターの魔法数)として、6、10、14、17、22、26、35を見出した。特に35原子空孔(V35)は、(111)面方位をもった負の表面に囲まれた八面体の形状をしており興味深い。さらに密度汎関数法のLDA/GGA近似による計算を行い、上記の魔法数が第一原理計算でも導出できることを示した。安定原子空孔V6、V10での周囲の原子の緩和を定量的に定めその緩和のパターンと禁制帯中の電子準位との関連を明らかにした。

多原子空孔はまた、結晶中の「コンテナ」とも考えられる。実際今回、原子空孔の内部が水素で覆われたときの安定性を調べ、水素原子の化学ポテンシャルに依存して、原子空孔は水素フリーになるか、水素完全飽和になるかのどちらかであることがわかった。通常の水素化実験中では、原子空孔は水素原子で完全に飽和された方が、エネルギー的に安定であり、さらにこの水素化原子空孔は水素分子を内部に捕獲することが明らかとなった。水素化複原子空孔、水素化6原子空孔、水素化10原子空孔、に捕獲された水素分子の伸縮振動数は、最近のラマン散乱実験の複数のピーク

を定量的に良く説明する。

職員名

教授(客員) 押山 淳 (1997年4月～1998年3月)

教授のプロフィール

1981年東京大学理学系大学院物理学専攻修士、理学博士。その後東京大学理学部助手、IBM Thomas J. Watson 研究所研究員、NEC 基礎研究所研究員、NEC マイクロエレクトロニクス研究所研究員を経て、1995年より筑波大学物理学系教授、現在に至る。物性理論とくに第一原理に立脚した計算手法による、表面・界面、エピタキシャル成長、欠陥、フラレン等新物質、の研究を行っている。

過去1年間の発表論文

- (1)M. Mikami, A. Oshiyama, "First-principles band-structure calculation of yttrium oxysulfide" Phys. Rev. B57, 8939-8944(1998).
- (2)S. Jeong, A. Oshiyama, "Barrierless bond breaking and exchange diffusion on Si(100)-H" Appl. Surf. Sci. 132, 287-291(1998).
- (3)S. Jeong, A. Oshiyama, "Diffusion mechanisms of a Si adatom on H-terminated Si(100) surfaces" Phys. Rev. B58, 12958-12963(1998).
- (4)N. Kitamura, A. Oshiyama, O. Sugino, "Atomic and electronic structures of deformed graphite sheets" J. Phys. Soc. Jpn. 67, 3976-3984(1998).
- (5)Y. Okamoto, M. Saito, A. Oshiyama, "Hybrid density-functional study of the vibrational frequency of a H-2 molecule at the tetrahedral site of silicon" Phys. Rev. B58, 7701-7706(1998).
- (6)T. Akiyama, A. Oshiyama, O. Sugino, "Magic numbers of multivacancy in crystalline Si: Tight-binding studies for the stability of the multivacancy" J. Phys. Soc. Jpn. 67, 4110-4116(1998).
- (7)S. Jeong, A. Oshiyama, "Structural stability and adatom diffusion at steps on hydrogenated Si(100) surfaces" Phys. Rev. Lett. 81, 5366-5369(1998).

電子量子デバイス工学研究分野

表面・界面反応プロセスの分子レベル制御と
表面・界面微細構造の解析と構造設計

分野の目標

21世紀に向けて、高次機能を有する電子デバイスの開発が重要研究課題となっている。そこでのキーテクノロジーは、原子・分子レベルの構造構築と構造解析であり、また、デバイス製造プロセスの分子レベルでの反応制御と解析である。原子・分子レベルで制御された反応プロセスで構築される微細構造体においては新しい物性機能の発現が期待できる。そこで本分野では、構造規定された固体表面・界面での分子レベル反応制御によって原子・分子レベルの微細構造を構築することを目的に、表面・界面反応のその場観察法の開発や反応制御法の開発研究を行っている。また、新しい物性機能を有する薄膜電子材料の開発にも取り組んできている。

研究テーマは以下の通りである。

1. 半導体表面・界面のナノスケール構造の研究
2. 高精度半導体表面分析法の開発
3. 光電子分光による表面電子物性の研究
4. 半導体表面・界面反応素過程の原子・分子レベル解析と制御
5. 機能性薄膜電子材料の形成と評価
6. 極端波長光励起反応プロセスの解析と応用
7. 半導体電極反応の解析と制御

過去一年間の主な成果

(1)半導体表面の原子・分子吸着状態の解明

シリコン・テクノロジーにおいて、表面を原子レベルで制御することが大きな研究課題であり、そのためにはシリコン表面における化学反応機構の微視的な解明が不可欠である。本分野では、シリコン表面反応の超精密“その場”観察手法としての、高感度赤外内部反射分光法の開発を行なってきた。赤外分光分析装置を開発・制作した。本年度は、この装置を用いて、主にシリコン表面における水素吸着・脱離反応やシラン系分子の吸着・分解反応を調べた。

前年度に引き続き、原子状水を吸着させたSi(100) 清浄表面の化学状態のアニールによる変化をSi-H伸縮振動領域の赤外吸収スペクトルを解析によって詳細に調べた。その結果、水素が脱離する過程で、水素の吸着状態が変化することを突き

止めた。従来、水素が脱離するとき水素は二占有ダイマー HSi-SiH を経由するとされていたが、我々の実験結果は、二占有ダイマーが二水素化物(ダイハイドライド、 SiH_2)に転換して、ダイハイドライドから水素が脱離するプロセスの存在を示した。下図は、Si(100) (2x1) 清浄表面に原子状水素を吸着させ、その後表面温度を上昇していったときのSi-H伸縮振動スペクトルの変化である。低温では表面Si原子に水素が1個付いたモノハイドライド成分(Si-H)のみが見られるが、温度の増加とともにダイハイドライド(SiH_2)成分が増加している。この変化は脱離の段階でモノハイドラ

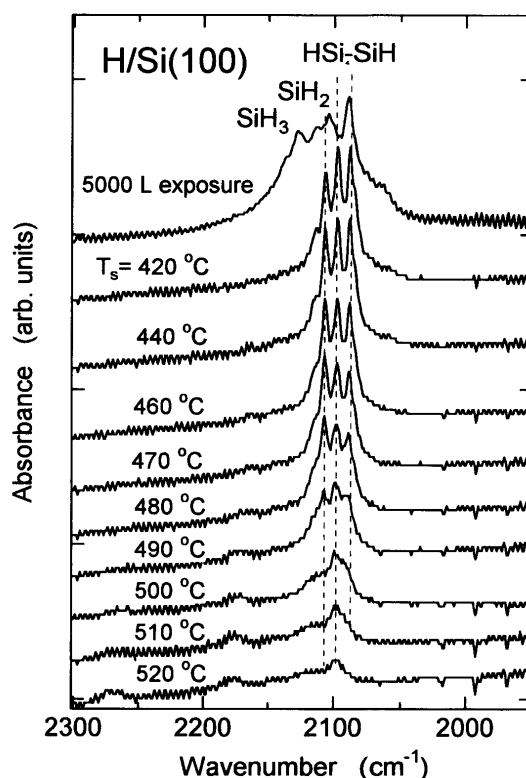


図1 水素吸着Si(100)(2x1)表面のSi-H伸縮振動スペクトル。数字は表面温度。

イドからダイハイドライドへの転換が起こっていることを示唆している。また、ダイハイドライド成分の増加は表面が荒れている時に顕著になることも分かった。

同じ装置で炭化水素分子、メチルシラン分子、

シラン分子等のSi表面吸着過程も調べ、特に、メチルシランやジシランの吸着・脱離では新しい水素吸着状態が存在することを明らかにした。

(2)シリコン固液界面反応過程のその場観察

評価・分析センターで開発した、溶液中のシリコン表面化学状態を赤外分光法で”その場”観察する手法を用いて、フッ酸溶液などのエッチング溶液中のシリコン表面の化学状態を分析した。半導体電極に電圧をかけることによって表面のエッチングや酸化を制御できることを明らかにした。このことは、溶液中で半導体表面上に微細構造を構築できることを示唆している。

(3)半導体表面上薄膜形成過程の研究

化合物半導体上の絶縁膜や金属の堆積過程を調べることは、量子デバイスを構築する上で需要である。本年度は、昨年度に引き続き、硫黄処理したGaAs表面上の金属、絶縁体薄膜の形成過程を赤外分光法、光電子分光法、AFMを用いて調べた。

硫黄処理した表面上では、Ag金属を堆積するとエピタキシャル成長することを確かめた。界面の硫黄が金属とGaAsとの格子整合を可能にすることがわかった。

更に、GaAs表面で硫黄原子がどのように結合するかを赤外分光法を用いたH₂S吸着実験から明らかにした。硫黄はGaAs表面でGaと結合し易いことが分かった。Ag金属がGaAs上にエピタキシャル成長したのは、界面にGa-S-Ga結合が形成されたためであることを明らかにした。

職 員

教 授 庭野 道夫 (1998～)

教授のプロフィール

昭和55年東北大学大学院理学研究科原子核理学専攻博士課程修了。理学博士。昭55宮城教育大学助手、昭61東北大学助手（電気通信研究所）、昭63助教授、平10教授。放射光を用いた固体光物性、表面物性、表面反応の研究に従事。最近は、赤外反射分光を用いた表面科学の研究に力を注いでいる。現在、表面科学会東北支部長。日本物理学会、応用物理学会、日本放射光学会などの会員。

過去一年間の発表論文

1. M. Niwano, T. Miura, and N. Miyamoto:
“Hydrogen exchange reaction on hydrogen-terminated Si(100) surface during storage in water,”
J. Electrochem. Soc., Vol.145, No.2, pp.659-661

(1998)

2. Michio Niwano, Miyako Terashi, Masanori Shinohara, and Daisei Shoji: “Oxidation processes on H₂O-chemisorbed Si(100) surface studied by in-situ infrared spectroscopy,” Surf. Sci., Vol.401, pp.364-370(1998)
3. Miyako Terashi, Jyun-ko Kuge, Masanori Shinohara, Daisei Shoji, and Michio Niwano: “Hydrogen adsorption and desorption processes on Si(100),” Applied Surface Science, Vol.130-132, pp.260-265(1998).
4. Daisei Shoji, Taka-aki Miura, Michio Niwano, and Nobuo Miyamoto: “Photoemission study of metal deposition on sulfur-treated GaAs(100),” Applied Surface Science, Vol.130-132, pp.441-446(1998).
5. Michio Niwano and Nobuo Miyamoto: “UV light-induced decomposition and polymerization of organosilicon compounds”(in Japanese) The Review of Laser Engineering, Vol.26, No.6, June 1998, pp.463-467.
6. Michio Niwano, Miyako Terashi, and Jyun-ko Kuge: “Hydrogen adsorption and desorption on Si(100) and Si(111) surfaces investigated by in-situ surface infrared spectroscopy,” Surface Science, 420 (1999) pp.6-16.
7. Daisei Shoji, Masanori Shinohara, Taka-aki Miura, Michio Niwano, and Nobuo Miyamoto: “Effects of surface chemical treatment on the formation of metal/GaAs interfaces,” Journal of Vacuum Science and Technology, in press.
8. Michio Niwano: “In-situ IR Observation of Etching and Oxidation Processes of Si Surfaces,” Surf. Sci. (in press).
9. Fumihiko Hirose, Hitoshi Sakamoto, Miyako Terashi, Junko Kuge, and Michio Niwano: “Hydrogen adsorption and desorption on SiGe investigated by in situ surface infrared spectroscopy,” Thin Solid Films(in press).

3. 3 コヒーレントウェーブ工学研究部門の目標と成果

近年における電気通信に関する研究は、高速コンピューターに代表されるような研究手法の高度化・インテリジェント化に伴って、情報通信を主とする広域研究へと変遷してきている。また、今後増大する情報量に対応し、より高度な情報化社会を実現するためにも、情報通信を念頭に置いた通信技術の研究開発が急務である。情報通信技術の究極の目標は、バリアフリー通信、即ち「いつでも、誰とでも、何処からでも、いくらでも、どんな情報でも送受できる通信」を実現することにある。この電気通信から情報通信への進展・変遷に対応した研究を効率良く進めるためには、これまでの各個研究から研究分野間の有機的結合をはかる総合的研究が重要である。

「コヒーレントウェーブ研究部門」は、情報の伝送及び処理のための諸技術を総合的に研究開発することを目的・目標にして組織されたものである。情報通信の発展にとって、伝送媒体となる電磁波（マイクロ波、光波など）を発生・伝送・信号処理する技術の研究開発は根幹の課題である。信号処理の分野では音響波、量子波など各種の波動が活用される。本研究所は、これまで電磁波・光波の発生、伝送に数多くの先駆的業績を持ち、高い水準の研究を進めてきた。また音響振動及びその電子工学との境界分野も、本研究所が世界的に高い評価を得ている研究領域である。本研究部門では、これら電磁波・光波・音響波さらに量子波の研究・技術を有機的・総合的に結合し、各波の周波数スペクトルを高度に利用することにより、情報の伝送及び処理のための諸技術を開発することを目的・目標としている。

本研究部門は8研究分野より成り、その内訳は、大きく分けて、電磁波関連に3分野、光波に2分野、音響波に2分野、さらに量子波を研究する1客員分野となっている。次に、これら8分野の目標および平成10年度の成果の概要を記す：

電磁波伝送工学研究分野

ミリ波の実用化を目指し、NRDガイドを基にしたデバイス、システムの開発研究を行った。具体的には60GHz帯NRDガイドガンダイオード増幅器を試作し、誘電体共振器を用いることで広帯域化を実現した。また、ミリ波帯において、簡単かつ薄型な構造で偏波変換が可能なミリ波偏波変換器を実現し、これを平面アンテナに組み込んだ実用的な車載レーダを試作した。ミリ波利用の一環として、光変調器の研究も進めており、本研究分野の提案による逆スロット線路を結合線路として用いた60GHz帯光周波数シフタの試作を行った。一方これまでに得られた博士論文、修士論文、卒業論文は、研究課題ごとに分類・製本して関係者に配布している。

極限能動デバイス研究分野

極限エレクトロニクスの創出を目的として、未開拓な短ミリ波からサブミリ波帯電磁波の高効率、高出力発生の研究、並びに真空と半導体機能を融合した新しいエレクトロニクスの構築とその工学的応用の研究を行っている。前者では、サイクロトロン高調波で動作するペニオトロンの開発研究を行い、高効率動作を実証すると共にサブミリ波帯に向けた開発研究を継続している。また、サイクロトロン高速波管の広帯域化のための提案を予備実験により検証し、ミリ波帯での試作研究を進めている。後者では、ダイヤモンドライクカーボン（DLC）被覆電界放射陰極の高輝度化の実証と高輝度化のための放射モデルを提案した。さらに、高周波数帯域での電磁波の高効率発生に向けて、マイクロ波帯からテラヘルツ帯の変調電子ビームの発生法の提案を行った。

テラヘルツ工学研究分野

本分野は、電波と光との境界領域である短ミリ波からテラヘルツ波の技術を実用に応用するために、各種デバイスおよび計測システムを開発することを目的としている。今年度はコヒーレント電力合成器の開発において、90 GHz帯で0.5 W(cw)の出力を得た。新型プローブを応用したミリ波帯の走査型近接場顕微鏡を開発し、60 GHz帯でSi基板中のフォトキャリア分布の観測に成功した。この時、空間分解能として60 μm （波長の100分の1）を得、また繰り返し現象に対しては時間分解能1 nsでの観測に成功している。又、共鳴トンネル・ダイオードを用いた短ミリ波帯発振器、テラヘルツ・フォトンクス技術を用いたテラヘルツ波のナノ秒幅パルス生成などにおいて大きな進展を得た。

応用量子光学研究分野

多機能・高性能特性を有する小型超広帯域コヒーレント光源の開発と電磁波スペクトル領域の開拓を目的とする研究を行い、以下の成果を得た。(1)デューティー比が1:1に制御された周期ドメイン反転誘電体結晶を作成し、波長1.2~6.6 μm の波長可変性とスロープ効率55%を有する光パラメトリック波長変換を達成、(2)波長可変性98~310 μm (周波数0.9~3.0GHz)を有する高効率THz帯パラメトリック発振器を実現、(3)有機非線形結晶DASTの高品質な結晶成長を行い、差周波混合により波長可変コヒーレントTHz波を発生、(4)1.5 μm 帯で動作可能なファイバー型FSEレーザを実現し、高精度距離計測 (光学長150kmで分解能40mmを達成) および群速度分散の測定に応用。

光集積光学研究分野

本研究分野で考案・実証した3Dフォトニック結晶作製プロセス (自己クローニング) を駆使し、新しい機能を持つ光デバイスの研究・開発を行っている。

まず、自己クローニングのメカニズムをシミュレーションと実験により解明し、これを利用して面型の偏光分離素子を実現した。これは作製が容易で大面積化に制限がなく、すでに実用レベルのものが得られている。また、作製したサンプルにおいて、従来のプリズムに比べて分離角が2桁以上大きい波長フィルタの動作をすることが発見され (スーパープリズム効果)、WDM用素子への応用が期待されている。さらに、微小光回路システムの基本となる3Dフォトニック結晶内の導波路を実証した。また、フォトニック結晶の種々の高機能デバイスへの応用、スパッタエッチングを駆使したより変調度の高い3Dナノ周期構造の作製技術の開発、フォトニック結晶内3D導波路の作製技術の開発、フォトニック結晶構成材料系の拡張 (短波長帯材料、機能材料) などの研究を展開している。

これらの成果をさらに発展させ新しい光産業に育てるため、1999年度から科学技術振興調整費による産官学共同研究をリーダーとして推進している。

フォノンデバイス工学研究分野

強誘電体、常誘電体、圧電体材料など誘電材料一般の開発・評価及びそれらを用いた高機能通信デバイスや記憶素子の研究を行っている。具体的には、圧電体中及び表面を伝搬する超高周波の弾性波動が電磁波の波長より約5桁短いことを用いた高度に集積化した信号処理デバイスの研究とその応用、及びその波動と電子・光・電磁波との相互作用の基礎とその応用、強誘電材料中のミクロな分極が可視化できる走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と強誘電体記録への応用並びに高性能誘電 (含む強誘電、圧電) 材料の開発を行うことを目的としている。今までに、圧電体基板上に弾性表面波を励振・受信する"すだれ状電極"を発明し、テレビの中間周波数フィルタ、移動体通信のフィルタなどに広く実用化されている。また、従来の圧電体に比べて10倍の変換効率の KNbO_3 単結晶基板を見い出している。本年度は、 KNbO_3 の薄膜化の研究をさらに進めその分極分布特性の評価を行った。また超高分解能走査型非線形誘電率顕微鏡の開発や極低温下での超高周波弾性表面波の伝搬損失の研究等も行った。これらの成果は、次世代の電子情報通信システムへの応用が期待されるものである。

電子音響集積光学研究分野

音声・データ・画像などの情報を、「いつでも、どこでも、誰とでも」各自が分散交換機能をもってやりとりできる携帯情報端末 (Tele-Pad) の実現を目指す。このため、超高信頼無線通信システム、アナログ/デジタル信号処理回路・デバイスの開発から、極微細プロセス技術開発、新しい弾性表面波 (SAW) 材料開発までを、一貫して行なう。

今年度は、スペクトラム拡散(SS)通信方式を用いた「構内SS-CDMA (Code-Division-Multiple-Access) システム」の構築を目指し、チャネル間干渉のない新しい近似同期CDMA符号の開発・検討、移動局用相関回路構成の検討、弾性表面波 (SAW) マッチドフィルタの高効率化を行なった。

量子波動工学研究分野 (客員)

結晶中の波動の振る舞いを、マクロなデバイス構造及およびミクロの材料構造の観点から解析し、新しい光デバイスを創出する研究を行う客員研究分野である。永沼充氏 (NTTフォトニクス研究所) が着任しており、フォトニクスバンドギャップを利用した極微細光回路やミリ波と光波の相互作用の研究を行なった。

電磁波伝送工学研究分野

ミリ波利用技術の確立を目指して

情報化社会の実現には、バリアフリー通信の開発が不可欠であり、それには、電波技術に頼るところが大きい。しかし、周波数帯に殆ど余裕がないのが現状である。このような状況を打開する目的で、電磁波伝送工学研究分野では、未利用周波数帯であるミリ波の開発に取り組んでいる。

ミリ波帯は特殊なスペクトラムである。波長が短いこともさることながら、各種の物質との相互作用が顕著である。これには大気中の水分子や酸素分子も含まれ、伝搬損の主因となる。更に、金属はミリ波帯ではもはや良導体とはなり得ない。これらがミリ波開発の隘路となっていた。

例えば、マイクロ波集積回路では、伝送線路としてマイクロストリップ線路やコプレーナ線路などのプリント線路が使用される。プリント線路はマイクロ波帯では優れた集積回路用伝送線路であるが、ミリ波帯になると伝送損が急増し、60GHzでは50dB/mを超える。更に線路のランダムな製作誤差による不要放射も無視できなくなる。

伝送損の軽減には誘電体線路が有効であることは古くから知られていた。特にミリ波帯になると回路もコンパクトになるので、イメージ線路、ストリップ誘電体線路など各種の誘電体線路が提案、研究された。プリント線路に比べて、誘電体線路は極めて低損失で、その伝送損は60GHzで3dB/m以下であることが確認されている。しかしながら、誘電体線路は曲げることができない。曲げると放射が生じ、損失となる。これでは複雑な集積回路を構成するのに適さない。誘電体線路の不要放射抑制が大きな課題であった。

電磁波伝送工学研究分野ではこの課題に取り組み、不要放射を完全に抑制できる誘電体線路としてNRDガイド（非放射性誘電体線路）を提案した。2枚の導体板を半波長以下の間隔で対向させると電波を全く通さない遮断空間ができる。この中に誘電体線路を構成すると不要放射のない、しかも低損失な伝送路ができる。電磁波伝送工学研究分野の研究目標は、このNRDガイドを用いて、種々の実用ミリ波システムを開発することであり、併せて新しいミリ波応用の可能性を探究することである。

1. ビーム走査形ミリ波レーダの開発

最近、我が国では、ミリ波技術の研究、開発を促進する目的に60GHz帯が解放された。この周波数帯は大気による減衰が大きく、それだけシステム間の干渉が少ない。この特徴を発揮するシステムとして車載レーダがある。当研究分野ではここ数年に亘ってNRDガイドを用いたミリ波車載レーダの実用化のための研究・開発を行ってきた。これまでに、NRDガイドを用いたフロントエンドと漏れ波NRDガイドで給電する長尺スロットアレー平面アンテナを重ね合わせてコンパクトなミリ波車載レーダを実現している。

今年度は更なる実用化を目指し、ビーム走査機能と斜め45度直線偏波を放射するミリ波車載レーダを開発した。折返し給電系は、漏れ波NRDガイドを収納した下側導波管と長尺スロットアレー平面アンテナを搭載した上側導波管とを仕切る導体板の一方の端に位置する結合スリットである。下側導波管から入射したTEM平面波は結合スリットを介して上側導波管に出射される。出射方向は、結合スリットの入射・出射側の反対側にある短絡板の傾斜角によって変化する。ビーム偏向の角度は短絡板の傾斜角の約2倍となる。短絡板はステッピングモータでシーソーのように揺動させている。車載レーダから放射する電磁波の偏波として、斜め45度直線偏波を用いれば対向車との干渉を避けることができる。この目的の為に、ミリ波用偏波変換膜を開発した。厚さが0.6mmの誘電体の両面に周期が0.15mmの金属ストリップを角度45度をなすように形成した簡単な構造の偏波変換板を平面アンテナの上側に被せることで斜め45度直線偏波放射を実現した。

試作したビーム走査式ミリ波車載レーダのレーダヘッドは厚みが25mm、幅が140mm、高さが170mmの平面形である。レーダ特性を測定した結果、ターゲットまでの距離が5mから120m、走査角が-8度から+8度の範囲での距離の測定誤差は0.5m以下である。また、相対速度の測定誤差は1Km/m以下であった。以上のように、コンパクトで高い検知性能をもつ実用的な60GHz帯ビーム走査式車載レーダを開発した。

2. 60GHz帯NRDガイド増幅器

これまでの研究開発により、NRDガイドを用いてミリ波帯の受動回路と能動回路の殆どを実現することが可能となった。これにより、室内LANを目指したミリ波送受信機や高度ITSの一翼をになうミリ波車載レーダーなど、各種のNRDガイドミリ波システムを構築できた。しかし、60GHz帯以上の実用的な増幅回路は未だに完成していない。増幅が可能になると各種のNRDガイド・ミリ波システムは格段に高性能となる。今年度はガンダイオードを用いた60GHz帯NRDガイド増幅器の試作研究を行い、その実用化の可能性の大きいことを示した。サーキュレータの1端子にガンダイオードを接続し、他の2端子を入力端子と出力端子とすることで単方向性の増幅回路を構成する。測定の結果、バイアス電圧の低域と高域に増幅動作の領域が存在し、高域バイアス電圧のほうが良好な特性となることが分った。ガンダイオードとサーキュレータを2個用いた2段増幅受信機を構成したところ、増幅利得が24dB、帯域が750MHz、雑音指数が16dBの特性を得た。

3. 逆スロット線路光変調器

ミリ波利用の一環として、光変調器の研究も進めている。パーソナル通信を目的としたミリ波サブキャリア光ファイバシステムの実現を念頭に置いたものである。これには我々の提案した逆スロット線路が用いられている。逆スロット線路はリチウムナイオベート基板の中で、光波とミリ波の伝搬速度を完全に整合できる優れた線路であり、しかも構造が簡単である。この逆スロット線路を用いて、変調用線路と結合線路を一体化した構造の60GHz帯光周波数シフタを提案し実験による評価を行った。逆スロット線路を用いた4相給電光周波数シフタをリチウムナイオベート基板に作成し、 $1.3\mu\text{m}$ 光キャリアから60GHz離れた所望変調光に対してイメージ変調光を12dB以上抑圧することに成功し、これにより逆スロット線路を用いた60GHz帯光周波数シフタを実現できる見通しを得ることができた。

職 員

教 授 米山 務
 助教授 中條 渉
 助 手 佐藤弘康
 技 官 我妻壽彦

米山務教授のプロフィール

昭和34年東北大学通信工学科卒。昭和40年同大学電気通信研究所助教授、昭和61年教授。平成11年東北工業大学教授現在に至る。マイクロ波/ミリ波の研究に従事。NRDガイドを提案。電子情報通信学会マイクロ波委員会委員長、評議員、東北支部長を歴任。第3回アジア太平洋マイクロ波国際会議実行委員長。郵政省通信総合研究所客員研究官。IEEE MTT-S東京支部長、1993-1995 Distinguished Lecturer。電子情報通信学会稲田賞、著述賞、論文賞受賞。1995年度志田林三朗賞受賞。1996年度電子情報通信学会業績賞受賞。1997年度科学技術長官賞（研究功績賞）受賞。1997年度電子情報通信学会功績賞受賞。

主な論文

1. "NRD Guide Couplers Combined with Microwave Integrated Circuits," T. Goi, S. Kawasaki, T. Ito and T. Yoneyama, 1998 IEEE MTT-S Internal Microwave Symposium, Baltimore, 1998.
2. "High-Speed ASK Transceiver Based on the NRD-Guide Technology at 60-GHz Band," F. Kuroki, M. Sugioka, S. Matsukawa, K. Ikeda and T. Yoneyama, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-46, No. 6, June 1998.
3. "Millimeter-Wave Research Activities in Japan," T. Yoneyama, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-46, No. 6, June 1998.
4. "Planar Millimeter-Wave Car Warning Radar Using NRD-Guide," Y. Wagatsuma, T. Yoneyama, International Conference on Microwave and Millimeter Technology ICMMT 98', Beijing, August 1998.
5. "Optical frequency shifter using coupled inverted slot lines at 60 GHz," W. Chujo, T. Hanasaka, and M. Naganuma: 1998 APMC Proceeding, December 1998.

極限能動デバイス研究分野

真空エレクトロニクスとその工学的応用の研究

情報通信、エネルギー等の各分野における電子デバイスに対する要求は、周波数、出力、効率、耐環境性等の点で年々ますます高くなってきている。その結果、半導体デバイスの動作限界を超える領域に踏み込んできている。例えば、動作周波数ではミリ波からサブミリ波、電力ではkWからMW、動作環境としては高放射線や高温環境等、どれをとっても従来用いられてきた半導体デバイスでは達成困難なハードルが横たわっている。

電子デバイスの動作機構を考えると、上記の壁を突破するための候補として真空電子デバイスが浮かび上がってくる。なぜならば、真空電子デバイスにおいては電子の運動する媒質として真空を用いているために、本質的に高速動作が可能で、耐環境性に優れた性質を有している。さらに物質中を運動する電子と異なり、真空中を運動する電子には媒質による抵抗損失がないために、高効率な動作が可能であるという特長を有している。本研究分野においては、これらの特長を生かした真空電子デバイスの開発を目指して、サイクロトロン高速波管の研究開発および微小電子源の開発とそれを用いた真空マイクロエレクトロニクスの研究を行っている。

サイクロトロン高速波管の開発

ミリ波～サブミリ波帯電磁波の利用には、核融合プラズマ加熱や計測、物性分野における分光計測、工業分野における特殊材料の加熱処理、ミリ波を用いた電力伝送等が考えられる。現在、これらの分野における電磁波源に対する要求は、発振周波数はミリ波帯からサブミリ波帯、発振出力はkWからMWに達する。この要求に応え得る可能性を持つ電磁波源としては、ジャイロトロン、ベニオトロン等、磁場中での回転電子ビームを利用するサイクロトロン高速波管以外には考えられない。

発振周波数の高周波数化には、サイクロトロン周波数の整数倍の周波数の電磁波を発生できるサイクロトロン高調波動作を用いる必要がある。サイクロトロン高速波管の中でもベニオトロンは、これまでの理論的実験的研究により、高効率性という点において最も優れていることが実証されて

いる。特に、自己共鳴ベニオトロン動作では、動作効率がほぼ100%に達することが、本研究者らにより理論的に示されている。さらに、サイクロトロン高調波動作での、高調波次数の増加に伴う効率の低下が小さいという特長があり、高周波数化に適している。本研究分野ではこの特長を生かすべくベニオトロン管の研究開発を行ってきており、現在までにサイクロトロン3次高調波動作において、電子ビームの運動エネルギーから電磁波のエネルギーへの変換効率が75%に達する動作に成功している。また、真空電子デバイスに特有なエネルギー回収機構を用いることにより、実効的に変換効率を92%まで高めることが出来ることを明らかにした。現在、これらの結果を基にして発振周波数35GHzにおいて実用レベルで利用可能な発振管の開発を進めている。一方、高周波数化の試みとして、サイクロトロン高次高調波を用いた発振実験を行い、サイクロトロン10次高調波動作において発振周波数100GHzの動作に成功している。現在、さらなる高周波数化を目指してサイクロトロン17次高調波および27次高調波による動作を目指して研究開発を進めている。また、電磁波源の利用目的によっては発振周波数が可変であることが要求されるため、サイクロトロン高速波管の周波数可変動作に取り組み、これまでにXバンド(8～12GHz)において連続的に周波数可変な動作に成功している。そして現在、ミリ波帯で動作可能な実験管の開発を行っている。

微小電子源の開発とその応用

従来から真空電子デバイスに用いられてきた電子源と異なり、微小電子源は電界放射やトンネル現象を利用した μm オーダーの電子源であり、これを用いることによって、平面パネルディスプレイや、低エネルギー分散電子ビームを用いた物性計測、マイクロ波帯からTHz帯にわたる高周波デバイスの開発が可能になる。

放射電子エネルギーの単色化や低エミッタンス化を目指してGaAs/AlAs超格子構造からなる共鳴トンネル陰極を作製した。GaAs基板側からトンネルした電子は、量子井戸中の量子化準位に一致したとき加速層へ透過し、電界により加速され電極

表面まで到達する。観測された電子放射特性において、ダイオード電流特性に共鳴トンネル効果に伴う負性抵抗性が観測される電圧近傍で、ステップ状とインパルス状の電子放射が観測されている。放射電流の立ち上がり電圧が、ダイオード電流に負性抵抗の現れる電圧と一致することから、共鳴トンネル効果を反映した電子放射と考えられる。今後、放射電子のエネルギー分布の計測を行う予定である。

放射電子電流の増大には、低仕事関数材料のコーティング等による表面改質が有効である。近年、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜のような誘電体膜を電界放射陰極表面にコートすることにより、電子放射のしきい値電圧と実効的な仕事関数が低下することが報告されている。そこで、コーティングによる先端の形状効果を排除するため、シリコンモールド法を用いてDLCをコートしたpoly-Si電界放射陰極を製作した。その結果、DLCをコートしたFEA(フィールドエミッタアレイ)のしきい値電圧は著しく低下し放射電流も増加した。コートしていないpoly-Si FEAの仕事関数を4.1eVとすると、DLCをコートしたFEAの実効的な仕事関数は、コーティングにより2.97eVに低下していることが示された。

我々はFEAのマイクロ波、ミリ波およびTHz帯の高周波デバイスへの応用として、高周波トランジスタとFEAを組み合わせることで変調電子ビームを発生させる方法を提案している。エミッタタイプをトランジスタのコレクタとして用いることで、入力信号をトランジスタのベース-エミッタ間に加えることによって高周波数で変調された集束電子ビームを発生させることが可能である。また、変調電子ビームは、GaAsやInPなどのガン効果素子をFEAの機能に融合することによっても可能である。

近年、光伝導体アンテナにフェムト秒レーザや周波数の異なる2つのレーザ光を照射することによりTHz帯に及ぶ電磁波の発生が報告されている。そこで、この光伝導の機構をp型半導体やヘテロ接合などの量子構造で形成されたFEAに応用することでTHz帯に及ぶ変調電子ビームを発生する方法を提案した。発生した変調電子ビームは高エネルギーに加速された後、高周波回路中で相互作用させることで広帯域にわたり効率よく電磁波を発生することができる。

職 員

教 授 横尾 邦義 (1993年より)

助教授 三村 秀典 (1996年より)

助 手 佐藤 信之

助 手 嶋脇 秀隆

技 官 寒河江克巳

教授の研究歴

昭和37年静岡大学工学部電気工学科卒業、昭和46年東北大学大学院工学研究科博士課程修了。東北大学助手、助教授を経て、現在電気通信研究所教授。この間、マイクロ波帯電子ビームデバイス、半導体デバイス、真空マイクロエレクトロニクスデバイスの開発研究に従事。電子情報通信学会、電気学会、応用物理学会、IEEE会員。

主な研究発表

発表論文

○H.Mimura, Y.Abe, J.Ikeda, K.Tahara, Y.Neo, H.Shimawaki and K.Yokoo, "Resonant Fowler-Nordheim tunneling emission from metal-oxide-semiconductor cathodes", J. Vac. Sci. Technol., B16 (2), pp.803-806, 1998.

○H.Mimura, G.Hashiguchi, M.Okada, T.Matsumoto, M.Tanaka and K.Yokoo, "Enhancement in electron from polycrystalline silicon field emitter arrays coated with diamond-like carbon", J. Appl. Phys., 84, pp.3378-3381, 1998.

国際会議報告

○K.Yokoo, T.Ishihara, K.Sagae, H.Shimawaki and N.Sato, "Efficient operation of high cyclotron harmonic peniotron in millimeter wave region", ITG Conference 150, pp.447-452, 1998.

○K.Yokoo, M.Iguchi, N.Sato and J. Nishihara, "Wide-Band Frequency Tunable Single Mode Gyrotron", Conf. Digest of 23rd Int. Conf. on IR and mm Waves, pp.317-318, 1998.

○K.Yokoo and H.Mimura, "Terahertz Modulation in Field Emission by Photomixing of Semiconductor Field Emitter Array", Extended Abstracts of 2nd Int. Vacuum Elect. Sources Conf., pp.225-226, 1998.

○K.Yokoo, "Proposal of THz FEL using a Photomixing Field Emission Cathode", Conf. Digest of 23rd Int. Conf. on IR and mm Waves, pp.340-341, 1998.

テラヘルツ工学研究分野

ミリ波、サブミリ波、テラヘルツ帯における
デバイスおよび計測システムの研究開発

電磁波のスペクトラムのうち、ミリ波からテラヘルツ帯（あるいは波長でサブミリ波帯）に亘る領域は、電波と光との境界に位置している。電波と光の両者が共に開発が進み、現在の情報化社会で重要な役割を担っているのに比べ、この領域特にテラヘルツ帯の技術は、その実用化技術の開発が格段に遅れている。しかし、近年の情報通信インフラの整備推進に見られるように、将来の高度情報化社会に向けて周波数資源は益々その重要性を増してきている。また、新機能材料の評価、地球環境計測、あるいはプラズマ計測等の諸分野においても、テラヘルツ領域の技術開発が強く望まれている。

本「テラヘルツ工学研究分野」では、この領域において、実用的な検出器、発振器、計測システム等種々の技術を開発し、新しい電磁波スペクトラムを開拓するための研究を行っている。我々のデバイス開発の指針は次のキーワードに要約される：常温・高速動作、コヒーレント光、cw, tunable.

なお、本分野が中心となって開催している「テラヘルツ工学研究会」（5.2 節を参照）は、この電波と光との境界領域に関する討論の場として所内外の研究者へ公開されているものである。また、本所共同プロジェクト研究「ミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発」（4.1 節を参照）の実施に当たっては、本分野でお手伝いさせて頂いている。

以下に本年度の研究テーマ及び成果を述べる。

1. ミリ波帯イメージング技術の研究

ミリ波の応用のうち、計測技術は重要な位置を占める。ミリ波特有の計測分野が多く存在するからである。本分野では、特に2種類のミリ波イメージング技術の研究開発を行っている。波長程度の分解能を持つフォーカル・プレーン・イメージングと波長以下の分解能が得られる走査型近接場顕微鏡である。

1-1 フォーカル・プレーン・イメージング

ミリ波帯のイメージング技術は、プラズマ計測、地球環境計測、リモートセンシング、車載レーダー等の分野より要求のある分野である。本研究室では、これまで、プラズマ計測への応用に関し筑

波大学、文部省核融合科学研究所等と共同で研究を行ってきた。このテーマは本研究所の共同プロジェクト研究としても採択され、全国の研究者との議論を通して大きな成果を挙げてきている。

今年度は、特にパッシブ・イメージング用の MMIC 増幅器、アンテナ系の設計を中心として研究を行い、MMIC が入手可能な 35 GHz 帯でのシステムについて研究を行った。測定可能な温度分解能、また空間分解能について検討を加え、その基礎実験のための装置を組み上げた。

1-2 走査型近接場顕微鏡

フォーカル・プレーン・イメージング技術では、その分解能は、光学系の回折により制限され波長オーダーになる。一方、最近光領域にて活発な研究が行われている近接場顕微鏡では、その分解能はプローブの形状により決定され、波長よりも十分に小さくすることが可能である。我々はプローブとして導波管端面のスリットを提案した。このプローブの長所は、1) カットオフ条件で制限されないで信号強度が大きい、2) スリット部の電界分布は解析が可能であり、また電界方向を定めることが出来る、3) 信号処理に CAT SCAN の方法を用いており、必要な空間分解能に応じて走査時間を調節出来る、等である。本年度は、この方法を半導体のフォトキャリア分布の時間変化の観測に応用し、時間分解能 1 nsec での観測に成功した。この成果は、国際会議の招待講演として選ばれた。なお、現在誘電体基板の誘電率分布の計測に応用すべく研究を進めている。

2. 発振器アレイの研究

短ミリ波、サブミリ波、テラヘルツ帯技術を開発するに際して、コヒーレントで同調可能な発振器の開発は不可欠である。この領域の固体素子は、いずれも出力が小さく実用的なものからは程遠い。発振器アレイを用いたコヒーレントな電力合成の研究は、固体素子のこの欠点を克服するものである。今年度は、ホーンアンテナを用いた電力合成器で 90 GHz 帯ガンダイオード 9 個のコヒーレント合成により 0.5 W の出力 (cw) を得た。また、複数個の HEMT を回折格子に配列し、ファブリ・ペロー共振器を構成したものに対して、等

価回路を作成する事に成功し、現在38個のHEMTの電力合成を行うべく実験装置を組み上げているところである。

更に、サブミリ波帯の光源を目的に共鳴トンネルダイオードの研究を行い、低雑音増幅器の可能性を見いだした。

3. ショットキ・ダイオードの開発

ショットキ・ダイオードは、高速検出器、ミクサー、周波数通倍器などとして常温で動作するテラヘルツ帯開発のキーデバイスである。我々は、これまでに直径0.3 μm までのGaAsダイオードの開発を行い、主としてプラズマ計測用のテラヘルツ帯検出器としてわが国をはじめ、世界各国の諸研究所に供給してきた（核融合科学研究所等との共同研究）。現在研究の主題は4 THz用ダイオードの開発にあるが、今年度そのダイオードの製作を行い、現在核融合科学研究所のその評価を依頼しているところである（本研究所共同プロジェクト研究）。

また、本研究に関連して、雑音による金属-半導体（M-S）界面の評価法の研究を行っている。従来、M-S界面のごく近傍のトラップレベル等を評価出来る方法は知られていない。我々は、ショットキ・ダイオードからの雑音スペクトルを調べることにより、界面近傍の状態を評価する方法を提案し、現在実験による雑音測定とともにその理論的な検討を進めている。

4. 光と電子との相互作用に関する基礎研究

クライストロン等電子ビーム装置のcw動作の高周波限界は、量子効果に制限されてテラヘルツ帯にあるとされている。本研究は、この理論的な予想を実験によって検証するために計画されたもので、光（ $h\nu = 1.6\text{ eV}$ ）と相互作用した電子ビームのエネルギーを精密に測定することを目的としている。相互作用回路は、光ファイバー先端上の間隙幅200 nmの金属スリットを用いる予定で、現在マイクロマシーン技術を利用してその製作を進めると同時に赤外域での実験システムを組み上げているところである。本研究は、当研究室が長年に亘って進めてきている基礎物理に関するものであるが、この研究から上記のスリット型プローブを用いた近接場顕微鏡のアイデアが生まれるなどの成果が上がっている。将来、光領域における小型電子ビーム装置開発のための基礎データの取得、あるいはエバネッセント波の精密測定手段の開発などの分野にも応用できると考えている。

5. マイクロマシーン技術を用いたミリ波・サブミリ波帯素子の製作

ミリ波、サブミリ波領域の回路素子の寸法は、半導体微細製作技術を用いたマイクロマシーン技術による製作に適している。我々は、UV硬化レジンをを用いて準光学的フィルター、導波管用短絡素子の製作に成功し、サブミリ波回路素子の大量生産技術の開発に新しい道を拓いた。

職員：水野 皓司（教授、1984年より）、ベイジョンソク（助教授、1992年より）、濱野哲子（助手、1998年より）、荒木実（助手、1998年より）。

水野 皓司のプロフィール

昭38東北大・工・電子卒。昭43同大学院博士課程了。工博。東北大助手（昭43）、助教授（昭47）を経て、昭59教授（電気通信研究所）。昭47ロンドン大客員研究員、平2カリフォルニア工科大、ロンドン大客員教授。平2より平10まで理化学研究所（フォトダイナミクス研究センター）チームリーダを兼務。昭59 科学計測振興会賞、平5 IEEE フェロー、平成10 K.J. Button 賞。学会活動；国内：元応用物理学会東北支部長、電気学会「ミリ波・サブミリ波の技術」調査専門委員会委員長、電子情報通信学会マイクロ波研究会委員長、MWE '99 プログラム委員長 など。国際：94 IR & MM Waves の実行委員長、IEEE MTT-S プログラム委員など。

1998年度の発表論文

1. Victor.M.Lubecke, Koji Mizuno, and Gabriel M.Rebeitz, "Micromachining for Terahertz Applications (Invited)", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 46, pp.1821-1831, November 1998.
2. Jongsuck Bae, Takanori Unou, Tetsu Fujii, and Koji Mizuno, "Spatial Power Combining of Gunn Diodes Using an Overmoded-Waveguide Resonator at Millimeter Wavelengths", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 46, pp. 2289-2294, December 1998.
3. 荻戸立夫、ベイ鐘石、水野皓司、「ミリ波帯近接場顕微鏡」、レーザー学会誌, vol. 26, pp.546-550, July 1998.
4. その他 国内学会：5件、国際会議：14件
(内招待講演10件)

応用量子光学研究分野

多次元高機能コヒーレント光源の創出と その応用に関する研究

応用量子光学研究分野では、高度なレーザー制御技術と高性能な新材料の融合により、従来にない多機能・高性能特性を有する小型超広帯域コヒーレント光源の開拓とその応用に関する研究を行っている。具体的には、強誘電体、半導体、有機の各種非線形光学材料に対するミクロな構造制御や、レーザー発振動作に対する高度な時間的空間的制御により、光波からテラヘルツ波に至る広範なコヒーレント波の発生を行うとともに、その検出・制御までの一貫した研究を推進しており、その知見と成果に基づいた新たな応用領域の創生を目指している。

<ドメイン制御非線形光学>

周期ドメイン反転誘電体結晶を用いた擬似位相整合法（QPM）は、複屈折性を用いた従来の位相整合にとらわれずに非線形材料の最大テンソル成分を利用することができ、高効率な波長変換が可能な第二世代非線形光学デバイスへのキーテクノロジーとして急速に技術革新が進んでいる。我々は、世界に先駆けてドメイン制御非線形光学デバイスの研究を行っており、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、および $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 結晶において、デューティー比が1:1に制御された高品質なドメイン周期構造の再現性良い作製に成功している。さらに、QスイッチNd:YAGレーザーを励起光源とする光パラメトリック発振（OPO）において、材料の吸収端（ $4.5\mu\text{m}$ ）をはるかに超える波長 $6.6\mu\text{m}$ までの波長可変域拡大に成功し、スロープ効率55%におよぶ高変換効率を達成した。また、このQPMデバイスを用いて連続波発振にも成功した。現在、電界による高速同調が可能なQPM-OPO光源を実現しており、今後、環境計測や光通信、医療等への応用研究を展開する計画である。

<非線形光学効果を用いた広帯域波長可変コヒーレントTHz波発生>

光波と電波の境界にあるテラヘルツ波（THz波）領域は、未開拓の電磁波スペクトル領域であり、分子科学、物性物理学、生命科学において新たな現象の発見をもたらす可能性がきわめて高く、また環境計測や医療、産業応用等においても幅広い

展開が期待される。我々は非線形性に優れた LiNbO_3 結晶を用いたレーザー励起パラメトリック発振による光波の波長変換により、連続波長可変性を有するコヒーレントTHz波光源の開発に成功しており、テーブルトップサイズのコンパクトなシステム構成で、 $140\sim 310\mu\text{m}$ （ $0.9\sim 2.1\text{THz}$ ）にわたる広帯域波長可変性を実現している。発生するTHz波はガウス形状のビームプロファイルをもち、スペクトル純度にも優れている。また、本光源を用いた簡便なTHz分光計の構成や、波長可変性を利用した差分イメージングなどを行い、その有効性を実証している。さらに、新たな非線形光学材料（ $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ ）をミクロおよびマクロな光物性の観点から検討するとともに、新たな低損失パラメトリック発振器を開発することにより、数倍以上の変換効率向上と約 1THz におよぶ波長可変域拡大（波長 $98\sim 310\mu\text{m}$ 、周波数 $0.9\sim 3.0\text{THz}$ ）を実現した。

また、 LiNbO_3 に比べて1桁以上高い非線形光学係数を有する有機非線形結晶DAST（4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate）の育成も行っており、他に類をみないサイズと品質をもつ再現性の良い結晶の成長に成功している。さらに、Ti:サファイアレーザーやKTP光パラメトリック発振器による2波長発振コヒーレント光源を新たに開発し、これらを励起光源とする差周波混合により、世界で初めてDASTを用いた波長可変コヒーレントTHz波の発生に成功した。

今後、非線形光学効果を軸とする波長可変コヒーレントTHz波光源の開発・高性能化およびその応用までの一連の研究を展開し、この電磁波スペクトル空間において生み出される新しい科学技術分野である「テラフォトンクス」の確立と体系化を図る。

<周波数シフト帰還型レーザー>

周波数シフト帰還型レーザー（FSFレーザー）は、レーザー共振器内に挿入された音響光学素子（AOM）で周波数シフトした光波をレーザー媒質に帰還させる構成のレーザーである。我々は、これまでにその出力スペクトルがチャープ周波数コム（chirped frequency comb）であることを明らか

にするとともに、その発振機構の解明にも成功している。またその応用として、光計測への応用に取り組んでいる。

現在FSFレーザーの機能性向上の一環として、レーザー媒質としてエルビウム添加ファイバー(EDF)を用いたファイバー型FSFレーザーの研究に取り組んでいる。図2にその構成図を示す。ファイバー型FSFレーザーの利得媒質であるEDFは、光通信波長の $1.55\mu\text{m}$ 帯で広い利得幅を有しており、光通信網の診断などで威力を発揮するものと期待される。これまでにファイバー型FSFレーザーによる次のような機能性を実現している。

1. 光ファイバーの最低損失波長である $1.55\mu\text{m}$ 帯で発振するファイバー型FSFレーザーにより光ファイバーの長さ測定を行った結果、光学長 150 km を分解能 40 mm で測定可能であることを実証。
2. 光距離計測はFSFレーザー出力の自己遅延ヘテロダイン検波により行われ、そのとき観測されるビートスペクトルの半値幅から、測定対象の群速度分散を測定可能であることを理論的に証明するとともに、実験により確認。この技術は今後の高速光通信網の管理などに有用である。
3. AOMの駆動周波数によって発振波長を $1.549\mu\text{m}$ から $1.559\mu\text{m}$ の範囲にわたって電子的にチューニングすることが可能である。

以上のように、本研究分野ではFSFレーザーに関して、その発振動作機構から応用まで幅広く研究を行っており、今後も引き続きその機能性光源としての有効性の向上を目指した研究を進める計画である。

職 員

教 授 伊藤 弘昌 (1993/1～)
 助教授 谷内 哲夫 (1996/1～)
 助 手 四方 潤一, 中村孝一郎
 技 官 今野 勇治, 田久 長一
 技術補佐員 庄子 鉄雄
 秘 書 津田亜紀子

教授のプロフィール

1966年東北大学工学部通信工学科卒業, 1972年同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。以来、一貫して量子電子工学研究(改組により応用量子光学研究分野)で、研究・教育に従事。この間、1975～1976年に日本学術振興会派遣によるスタンフォード大学客員研究員として、非線形光学の研究に従事。1998年より理化学研究所フォトダイナミクス研究センターのチームリーダーを

兼務。

主な発表論文 (1998年度)

1. 四方潤一, 川瀬晃道, 佐藤学, 谷内哲夫, 伊藤弘昌, “ LiNbO_3 を用いた光パラメトリック発振によるコヒーレントTHz波発生の基礎特性,” 電子情報通信学会論文誌, **J81-C-I**(5), 267-273(1998).
2. “Observation of a highly phase-correlated chirped frequency comb output from a frequency-shifted feedback laser,” Koichiro Nakamura, Toshiharu Miyahara, and Hiromasa Ito, Appl. Phys. Lett., **72**(1), 2631-2633(1998).
3. Kodo Kawase, Junichi Shikata, Manabu Sato, Tetsuo Taniuchi, and Hiromasa Ito, “Widely tunable coherent terahertz-wave generation using nonlinear optical effect,” Electron. Commun. Jpn., Part 2, **81**(7), 10-18(1998).
4. Shunsuke Izumi, Manabu Sato, Johji Suzuki, Tetsuo Taniuchi, and Hiromasa Ito, “Periodically-poled LiNbO_3 optical parametric oscillator with 55% slope efficiency pumped by a Q-switched Nd:YAG laser,” Jpn. J. Appl. Phys., **37**(11B), Part 2, L1383-L1385(1998).
5. “A new technique of optical ranging by a frequency shifted feedback laser,” Koichiro Nakamura, Toshiharu Miyahara, Masato Yoshida Takefumi Hara, and Hiromasa Ito, IEEE Photonic Technology Letters, **10**(12), 1772-1774(1998).
6. “Enhancement of terahertz-wave output from LiNbO_3 optical parametric oscillators by cryogenic cooling,” Jun-ichi Shikata, Manabu Sato, Tetsuo Taniuchi, Hiromasa Ito, Optics Letters, **24**(6), 202-204(1999).
7. “Mid-infrared($5\text{-}12\mu\text{m}$) and limited($5.5\text{-}8.5\mu\text{m}$) single-knob tuning generated by difference frequency mixing in single-crystal AgGaS_2 ,” Sajjad Haidar, Koichiro Nakamura, Eiji Niwa, Katashi Masumoto, and Hiromasa Ito, Applied Optics, **38**(9), 1798-1801(1999).

光集積工学研究分野

フォトリック結晶と応用デバイスの研究

○本分野の目標

光の波長の1/2程度の間隔で複数の光学媒質が多次的に配列した周期構造体は、電子系の結晶との類似性から光子に対する結晶、すなわち「フォトリック結晶」と呼ばれる。フォトリック結晶の持つ、光の伝搬できない「フォトリック・バンドギャップ」と呼ばれる波長域や、大きな異方性・分散性などの特性を利用することで、放射損失のない超微小光立体回路や超低雑音レーザ、偏光制御素子、高屈折プリズムなど、これまでにない特色を持つ次世代の光機能素子が可能になるものと期待されている。

本研究分野ではここ数年で、再現性と信頼性に優れるリソグラフィ技術と多層薄膜の積層技術を駆使して、可視～近赤外波長域における実用的な2次元及び3次元フォトリック結晶を作製することに世界に先駆けて成功した。現在は作製技術のさらなる改良と、応用デバイスの提案及び開発を行っている。またそれと平行し、光機能素子を光伝送路に複合集積化するヴァーティカル・フォトリックス技術の研究も継続している。

○過去1年間の主な成果

1. 3次元フォトリック結晶の作製と応用

(1)作製技術の向上

我々はこれまで、電子ビームリソグラフィとドライエッチにより3角格子状の孔の列、もしくは溝の列を形成した基板上に、rfバイアススパッタリング法にてSiとSiO₂を交互に積層することで、サブミクロンの格子定数を持つ2次元または3次元フォトリック結晶を作製してきた。膜の凹凸形状が積層とともに自動的に繰り返されることから、我々は本方法を自己クローニング技術と呼んでいる。結晶の屈折率の空間的変調をより強くし、フォトリックバンドギャップを広い立体角範囲で開かせるためには、同技術における多層膜の形状の作製の自由度を上げる必要がある。自己クローニング効果のメカニズムは、(a)スパッタ材料の中性粒子の分散入射、(b)イオンの垂直入射による膜表面(主に斜面)のスパッタエッチング、(c)スパッタエッチで二次的に生じる膜物質の再付着、の3つの物理現象から明らかになることがこれまでの

基礎検討で明らかになっている。本年度はこの結果を踏まえ、スパッタ粒子の飛来方向の制御を重点的に試みた。ターゲットと積層基板の間に種々の形状の遮蔽物質を配置して材料物質の入射角度プロファイルを変化させることで、Siにおいては波型多層膜の谷底部分への堆積の強調を、SiO₂においては斜面の角度の急峻化をなし得ることを実験的に証明した。

(2)偏光分離素子への応用

2次元フォトリック結晶のフォトリックバンド構造の偏光依存性を利用すると、偏光分離素子として機能させることができる。我々はまず、自己クローニングによってできる多層膜状の2次元結晶のフォトリックバンド構造と、その波長透過特性を有限差分時間領域法にて数値的に求める手法の確立を図った。次に自己クローニングにて実際に素子を作製し、光学評価を行なった。その結果、近赤外(1.55 μm)域において消光比40dB以上という極めて良好な特性を確認した。また通常使用されている光学部品と同様の無反射コーティングの設計法も開発し、挿入損失を0.1dB程度まで抑えることを可能とした。

(3)構成材料系の拡張

光情報機器への応用などを踏まえ、可視～紫外波長域用の材料を用いたフォトリック結晶の作製技術の開発を行なっている。TiO₂/SiO₂系、Al/SiO₂系の各材料系で結晶の試作を行ない、現在までに近赤外用のSi/SiO₂系にはほぼ匹敵する空間変調(波型の斜面の傾斜角 $\sim 40^\circ$)を持った周期構造を作製することに成功した。

2. PLC集積型光アイソレータ

半導体集積化光源の動作安定化に必須な光アイソレータの、石英系平面光波回路への複合集積化を試みた。偏光回転素子や波長板等の複数の光素子を導波路中に形成した矩形溝に直接挿入して偏波無依存型光アイソレータを構成する技術を開発し、近赤外波長帯において低損失、高アイソレーションの特性を実験的に確認した。

3. ポリマー光導波路集積型光デバイス

導波路レイアウトの設計自由度の大きい、ポリマー系平面光導波路への機能素子の集積の研究を行なった。機能集積の可能性の検証として導波路中の空洞に封入された液晶にて偏波の切替えを行なう素子の試作、評価を行った。

○職員

教授 川上彰二郎 (1979年より)

助教授 花泉 修 (1996年より)

助手 佐藤 尚

助手 大寺 康夫

助手 千葉 貴史

技官 相澤 芳三

秘書 菅田亜貴子

○教授のプロフィール

昭和40東京大学大学院工学研究科博士過程修了。同年東北大学電気通信研究所助手。昭和41助教授を経て、昭和54年より教授、現在に至る。グレーデッドインデックス光ファイバ、W型光ファイバの解析、設計など光ファイバの研究に従事した。1980年以後、光機能デバイス・部品に興味を持ち、積層形偏光素子 (LAMIPOL、LPS)、光アイソレータ、スイッチ、アンプ、ビーム拡大光ファイバ (TEC) 等について研究した。ここ数年間はフォトニック結晶とその応用デバイス技術に力を注いでいる。電子情報通信学会、日本光学会、OSA各会員。IEEEフェロー。電子情報通信学会稲田賞 (昭40)、同会業績賞 (昭62)、同会功績賞 (平10)、市村賞貢献賞 (昭52)、服部報公賞 (平8) 受賞。電子情報通信学会副会長 (平8~10)。

○主な研究発表

- [1] S. Kawakami, "Fabrication and Future Applications of Photonic Crystals," Int'l Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT'99), PI-2, Sendai, Japan, Jan. 1999.
- [2] S. Kawakami, "Autocloning: a New Concept of Fabricating Three-Dimensional Photonic Crystals," Workshop on Electromagnetic Crystal Structures, Design, Synthesis, and Applications (WECS), Laguna Beach, California, Jan. 1999.
- [3] T. Sato, T. Kawashima, Y. Ohtera, T. Tamamura, M. Notomi, M. Naganuma, and S. Kawakami, "High-Contrast Ultrathin Polarizers Polarization-Splitters Utilizing 2D Photonic Crystal," WECS,

poster ThD25, Laguna Beach, California, Jan. 1999.

- [4] T. Chiba, Y. Ohtera, and S. Kawakami, "Polarization Stabilizer using Liquid Crystal Rotatable Waveplates," J. Lightwave Technol., vol. 17, no. 5, 1999 (in press).
- [5] O. Hanaizumi, Y. Ohtera, T. Sato, and S. Kawakami, "Optical waveguides in a-Si/SiO₂ submicrometer 3D photonic crystals: Fabrication and observation," Conf. on Lasers and Electro-Optics-Europe (CLEO/Europe '98), CPD2.5, Glasgow, UK, Sept. 1998.
- [6] O. Hanaizumi, Y. Ohtera, T. Sato, and S. Kawakami, "Propagation of light beams along line defects formed in a-Si/SiO₂ three-dimensional photonic crystals: Fabrication and observation," Appl. Phys. Lett., vol. 74, no. 6, pp. 777--779, February 1999.
- [7] S. Kawakami, T. Kawashima, and T. Sato, "Mechanism of shape formation of three-dimensional nanostructures by bias sputtering," Appl. Phys. Lett., vol. 74, no. 3, pp. 463--465, January 1999.
- [8] 川上彰二郎, "3次元フォトニック結晶の作製と応用," 電子情報通信学会論文誌, 学生のページ, vol. 81, no. 10, pp. 1063-1066, 1998年10月.
- [9] 川上彰二郎, 花泉修, 佐藤尚, 大寺康夫, 川嶋貴之, 安田納章, 竹井良彦, 三浦健太, "自己クロニングによる3次元フォトニック結晶の作製と応用," 電子情報通信学会論文誌 C-I, vol. J81-C-I, no. 10, pp. 573--581, 1998年10月.

フォノンデバイス工学研究分野

高性能圧電体単結晶・薄膜と超微細加工プロセスを用いた超高周波弾性波機能デバイスの研究

分野の目標

本研究分野では、来るべき21世紀のグローバルな高度情報化社会に向けて、弾性波（SAW）デバイスの超高周波化、高機能化の実現、ならびに新しい概念の弾性波機能デバイスの研究開発を行うことを目標としている。

弾性波デバイスは、高速・高密度・超小型の周波数制御・選択ならびに信号処理のための独自の機能と優れた特性を有することから、電子・情報通信システムの高度化に大きな役割を果たしており、更なる研究・開発が必要である。

具体的には、高速・高密度・超小型の弾性表面波デバイスの研究開発のために、大きな電気機械結合係数と大きな音速をもつ圧電体単結晶及び圧電単結晶薄膜材料の研究・開発、それらの材料中を伝搬する線形・非線形の弾性波動の解明、及びその波動を用いた高性能デバイス、また、弾性表面波と光波の相互作用を利用して、光の偏向、変調、周波数変換、フィルタリング、ミキシングなどの機能をもつ高性能光デバイスの研究、更に、薄膜半導体と弾性表面波との相互作用を利用した、スペクトル拡散通信のキーデバイスである高効率コンボルバの開発を行う。また、弾性表面波デバイスの超高周波化、即ちGHz帯から数十GHz帯のデバイスを得るためのナノメータ超微細加工プロセスの研究を行い、GHz帯の弾性表面波機能素子の実現を図る。

また、強誘電体分極分布を純電氣的に計測できる走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電体材料の評価技術の開発と強誘電体記録の研究を行う。

過去1年間の主な成果

(1)新圧電体単結晶・薄膜材料の研究

KNbO₃超高結合圧電体単結晶及び薄膜と高機能デバイスへの応用の研究

電気機械結合係数（ K^2 ）が大きい材料は、広帯域SAWフィルタ、高効率SAWデバイス、非線形SAWデバイスなどにおいて非常に重要である。これまでの研究で、KNbO₃単結晶は、従来 K^2 が最も大きいとされていたLiNbO₃の約10倍の値を有することを見い出している。

本年度は、MOCVD法およびスパッタリング法によるKNbO₃の薄膜作製の研究を行った。その結果、世界で初めて圧電性のあるKNbO₃薄膜を得た。また、弾性表面波の励振・受信特性を測定し、この薄膜が約2%の電気機械結合係数を有することを確認した。

(2)超高周波低損失弾性表面波デバイスの研究

高密度電子情報通信のためには、数GHz帯から数10 GHz帯のSAWデバイスの研究・開発が重要である。そのために必要となる、ナノメータ超微細加工プロセスの研究を行っている。

本年度は、128°Y-X LiNbO₃基板上に線幅約0.09 μm の微細な周期電極を作製し、10GHz帯で挿入損失3.3dBの低損失SAWフィルタを得た。

(3)高効率SAWコンボルバ及びマッチドフィルタの研究

スペクトラム拡散通信システムに応用される、エラスティック型、及び、半導体薄膜を用いたストリップ結合型のSAWコンボルバ、及びSAWマッチドフィルタの研究を行っている。

今年度は、KNbO₃圧電体単結晶を用いたエラスティック型SAWコンボルバの研究を行い、従来より約15dB高効率の特性を得た。

(4)誘電率変化型顕微鏡の研究

誘電材料中のミクロな誘電率温度係数分布や熱の流れの可視化計測及び誘電材料を構成する元素の分光計測が可能な光熱誘電率分光顕微鏡、及び、強誘電分極分布が純電氣的に高速かつ高分解能で観測できる走査型非線形誘電率顕微鏡の研究開発とそれを用いた材料評価を行っている。

本年度は、走査型非線形誘電率顕微鏡の高分解能化の研究を行い、ナノメータの分解能を実現した。

職員名

教授 山之内和彦（1979年より）

助教授 長 康雄（1997年より）

助手 小田川裕之

技 官 我妻 康夫

教授のプロフィール

山之内 和彦 (やまのうち かずひこ)

東北大通信工学科卒業 (1959年), 博士課程修了 (1965年), 博士論文「サイクロトロン波を用いたマイクロ波電子管に関する研究」, 東北大通研助手 (1965年), 助教授 (1968年), 教授 (1979年), 米国コーネル大学客員教授 (1979~1980年), 1979年発明賞, 1984年市村賞, 1995年電子情報通信学会業績賞。1995年からIEEE Transaction of UFFC のAssociate EditorとADCOM委員, 日本学術振興会弾性波素子技術第150委員会委員長, 1999年3月31日付で定年退官。

過去1年間の主な発表論文

- (1) K. Yamanouchi: "Generation, Propagation and Attenuation of 10GHz-Range SAW in LiNbO₃ (INVITED)", 1998 IEEE Ultrason. Symp. Proc., pp.57-62 (1998).
- (2) H. Odagawa, J.A. Qureshi, T. Meguro and K. Yamanouchi: "10 GHz Range Low-Loss Ladder Type Surface Acoustic Wave Filter", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, No.5B, pp.2927-2928 (1998).
- (3) H. Odagawa and K. Yamanouchi: "10GHz Range Extremely Low-Loss Surface Acoustic Wave Filter", Electronics Letters, Vol.34, No.9 pp.865-866 (1998).
- (4) K. Yamanouchi, H. Odagawa, T. Kojima, A. Onoe, A. Yoshida and K. Chikuma: "Piezoelectric KNbO₃ Films for SAW Device Applications", Electronics Letters, Vol.34, No.7, pp.702-703 (1998).
- (5) K. Yamanouchi, H. Odagawa, T. Kojima and Y. Cho: "New Piezoelectric KNbO₃ Films for SAW Device Applications", 1998 IEEE Ultrason. Symp. Proc., pp.203-206 (1998).
- (6) H. Odagawa and K. Yamanouchi: "Super High Electromechanical Coupling and Zero-Temperature Characteristics of KNbO₃ and Wide Band Filter Applications", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, No.5B, pp.2929-2932 (1998).
- (7) K. Yamanouchi, H. Odagawa, K. Morozumi and Y. Cho: "A Surface Acoustic Wave Elastic Convolver Using a KNbO₃ Single Crystal Substrate", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, No.5B, pp.2933-2935 (1998).
- (8) Y. Cho and K. Yamanouchi: "Scanning nonlinear dielectric microscope for investigation of ferroelectric domains", Abstract Booklet of The Fifth International Symposium on Ferroic Domains and Mesoscopic Structures, (1998).
- (9) Y. Cho, K. Matsuura and J. Kushibiki: "Scanning Nonlinear Dielectric Microscope with Submicron Resolution", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.37, No.5B, pp.3132-3133 (1998).
- (10) Y. Cho and K. Yamanouchi: "Scanning Nonlinear Dielectric Microscope with Submicron Resolution", Abstract Book of ECAPD IV '98, ISAF ? '98, Electroceramics VI '98, p.56 (1998).
- (11) Y. Cho and K. Yamanouchi: "Fundamental Studies on Scanning Electron-Beam Dielectric Microscopy" Jpn. J. Appl. Phys, Vol.37, No.9B, pp.5349-5352 (1998).
- (12) Y. Cho, N. Oota, K. Morozumi, H. Odagawa and K. Yamanouchi: "Quantitative Study on the Nonlinear Piezoelectric Effect of KNbO₃ Single Crystal for Super Highly Efficient SAW Elastic Convolver", 1998 IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings pp.289-292 (1998).

電子音響集積工学研究分野

超高信頼性無線通信技術を目指した システム・回路・デバイス・プロセス・材料の一貫した研究

21世紀の高度情報化社会において、各個人はTele-Padと命名される携帯情報無線端末をもち、Tele-Pad相互間あるいは基幹ネットワークに接続されたスーパー・ワークステーションとの間で、音声・データ・画像などの情報を各自が分散交換機能をもって、「いつでも、どこでも、誰とでも」自由にやりとりするC&Cのパーソナル化がますます進展すると考えている。本研究分野では、Tele-Padの実現を目的に、システム・回路・デバイス・プロセス・材料の一貫した研究を行っている(図1)。以下本年度の成果について述べる。

《超高信頼性スペクトラム拡散(SS)通信システム》

スペクトラム拡散通信方式は、ベースバンドデータを高速の擬似雑音(PN)コードで2次変調し、周波数帯域を拡散して送信し、受信側では送信側と同じPNコードを用いて相関を取り(2次復調)、元のデータに復調する。拡散・逆拡散のプロセスによりSS固有のS/N改善であるプロセスゲインが得られ、無線通信区間をロバスト化できる。また、PNコードによるチャンネル識別能力、即ちCDMA(Code Division Multiple Access)が可能であり、さらに位置検出が可能といった特徴をもつ。

ノイズレベル以下になる受信信号を逆拡散により復調するためには相関素子が必要であるが、特に携帯端末には低消費かつ小型相関素子が必須である。本研究分野では、IF(200 MHz)帯で非同期で相関処理を行うデバイスとして、ZnO/Si構造SAWコンボルバを開発・実用化し、国内認可第1号となる2.4GHz非同期SS無線モデムを開発した。

次に、SS-CDMA通信方式を用いる「構内CDMAシステム」(図2a)の構築を目指した。

多数の移動局から任意の時間に信号を受け取る必要のある基地局への「Upリンク」側では、チャンネル間干渉のない近似同期CDMA符号(末広符号)を使用し、SAWコンボルバを用いた相関回路の試作を行った結果、システム性能としてセル半径約160mが可能である事を示した。今年度は、末広符号の問題点であった基礎系列の相互相関を改善するために、新たにQS-I系列の導入を検討した。相互相関が特に良好なQS-I系列の組合せを用いた2次元セル構成を提案した。また、ソフトハンドオーバー、マルチデータレート化の検討を行った。

一方、受信機に小型・低消費電力復調器が必須となる移動局への「Downリンク」側では、2.4GHz SS信号を直接ベースバンドデータに復調するフロントエンドマッチトフィルタを用いる。本研究分野で開発してきた窒化アルミニウム/サファイア($\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$)構造は、約6,000m/secの高音速を有し、かつ本研究分野で見出した零温度係数伝搬遅延時間特性を持つので、2.4GHzフロントエンドSAWマッチトフィルタに最適な材料である。これまで設計・開発したマッチトフィルタを用いて2MbpsカードサイズSS復調器を開発している(図2b)。本年度は、拡散符号同期にSAWマッチトフィルタを用いたパケットSS-CDMA方式を提案した。実際にパケット構成を検討し、送受信機を構成して通信実験を行い、その実用性を評価した。

また、システム・デバイスの観点からSAWマッ

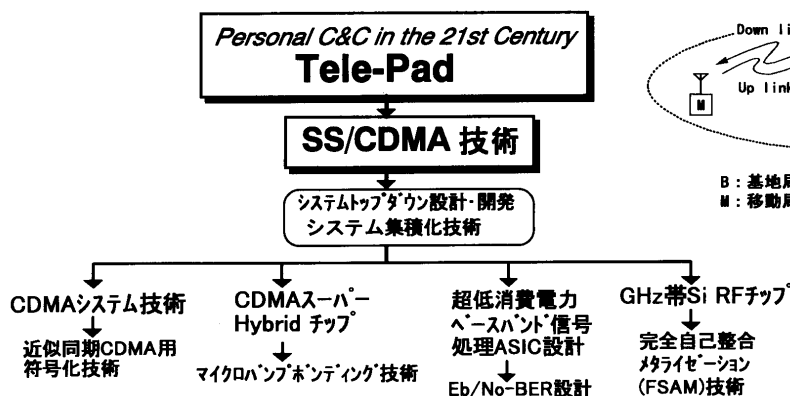


図1 電子音響集積工学研究分野の研究目標

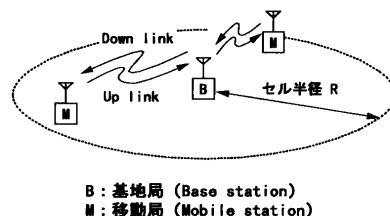


図2a セル化CDMAシステム

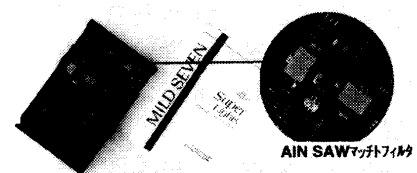


図2b 2.4GHzフロントエンドAlN SAWマッチトフィルタを用いた2.4GHz SS無線カード(PC card type-II, 2Mbps)

チトフィルタの動作向上を目指し、 SiO_2 積層構造による温度特性のさらなる向上、安定化を図った。また、 AlN エピタキシャル成長技術に関して、2インチサファイア基板上に膜厚分布 $\pm 1\%$ で AlN 膜を成長させる「クヌーセン圧MO-CVD技術」を用いて、表面クラック低減の為高温成長を行い、 AlN 薄膜のSAW伝搬特性の向上を確認した。

《極微細シリコン技術》

RFからベースバンドまでの信号処理のためにはSi集積回路の高速化が必須である。本研究分野では極微細 $0.1\mu\text{m}$ MOSFETを設計・試作し、低電圧駆動高速MOSFETの作製プロセスを確立している。この極微細MOSデバイス技術を発展させ、GHz帯シリコンRFモジュールの開発を行っている。具体的には、ULSI多層配線技術として本研究分野で開発してきた「選択Al CVD技術」を、積極的に高周波MOSFETの寄生抵抗低減に応用した「完全自己整合メタライゼーション (Fully Self-Aligned Metalization) 技術」を開発している。本年度は、GHz帯デジタル携帯電話用送信アンプとして、高効率・線形動作が可能なCMOSアンプを提案し、回路構成についてシミュレーション・試作を行い評価した。プロセス技術としては、Tiサリサイド上に自己整合窒化により形成したTi-Si-N極薄バリア層の熱処理前後の抵抗値、結晶性、バリア特性を評価した。また、量産化Al CVD装置開発として高速成膜のための有機金属原料の大量供給法であるDLI(Direct Liquid Injection)を装置へ導入した。

《超低消費電力Si集積回路》

バッテリー動作Tele-Padの実現のためには、アナログ・デジタル信号処理集積回路の低消費電力化が必須である。本研究分野では、10mW以下の消費電力が実現可能なDS-CDMA移動端末用電流モードマッチトフィルタCC-SIMF(Current-cut switched current matched filter)を提案している。本年度は、電流転送誤差累積の問題点を改善する電流データ転送法を検討した。またシステムから回路、デバイスレベルまでを一貫して評価する指標として、通信システムの設計・評価に広く用いられているEb/No-BER (Eb: 1ビット当たりのエネルギー、No: 1Hz当たりの雑音電力、BER: ビット誤り率) 特性を提案し、CMOS集積回路のみならず単一電子トランジスタ (SET) 回路にも適用可能である事を明らかにし、超低消費電力回路設計技術へと発展させている。本年度は、SET回路の室温動作の可能性を検討し、Ebを改善する室温動作マッチトフィルタ型CSET回路を提案した。

＜職 員＞

教 授 坪内和夫 (1993年より)

助教授 益 一哉 (1993年より)

助 手 横山道央

助 手 松橋秀樹

＜坪内和夫教授のプロフィール＞

昭和49年3月名古屋大学大学院博士課程修了。工学博士。昭和49年4月東北大学電気通信研究所助手。昭和57年3月～10月米国パーデュー大学客員助教授。昭和58年3月助教授。平成5年3月教授。昭和58年服部報公賞、平成6年第26回市村学術賞貢献賞、平成8年第11回電気通信普及財団賞 (テレコムシステム技術賞) 受賞。平成9年第22回井上春成賞受賞。

日本物理学会、日本応用物理学会、電気学会、電子情報通信学会、IEEE会員

＜研究テーマ＞

1. 高信頼性GHz帯SS-CDMA方式無線通信モデム及びシステムの研究
2. GHz帯弾性表面波信号処理デバイス及び材料の研究
3. 超低消費電力GHz帯サブ $0.1\mu\text{m}$ SiアナログRFチップの研究
4. サブ $0.1\mu\text{m}$ 超微細プロセス技術の研究
5. $0.01\mu\text{m}$ プロセス技術とデバイスの研究

＜主な研究発表＞

1. K. Tsubouchi and K. Masu, "Wireless Multimedia: SS-CDMA Technology", Proc. of International Symposium on Future of Intellectual Integrated Electronics (March 14-17, 1999, Sendai) p.259-268.
2. H. Matsushashi, A. Gotoh, C.-H. Lee, M. Yokoyama, K. Masu and K. Tsubouchi, "Self-Aligned 10-nm Barrier Layer Formation Technology for Fully Self-Aligned Metallization Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor", Jpn. J. Appl. Phys, vol.37 (1998) pp.3264-3267.
3. S. Shimano, K. Masu and K. Tsubouchi, "Reliability of Single Electron Transistor Circuits Based on Eb/No-BER Characteristics", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.38(1B) (1999) 403-405.
4. C.-H. Lee, T. Nishimura, H. Matsushashi, M. Yokoyama, K. Masu and K. Tsubouchi, "Crystallographic Structure and Contact Resistance of Self-Aligned Nitrided Barrier-Layer on TiSi_2 for Fully Self-Aligned Metallization MOSFET", Advanced Metallization and Interconnect Systems for ULSI Applications in 1998: US Session, Colorado, Oct. 8, 1998. p.11-12.
5. S. Tomabechei, S. Kameda, K. Masu and K.

- Tsubouchi, "2.4GHz front-end multi-track AlN/ α -Al₂O₃ SAW matched filter", 1998 IEEE International Ultrasonic Symposium, Sendai, Oct. 5-8(1998)p.272-273.
6. S. Shimano, K. Masu and K. Tsubouchi "Reliability of SET Circuits Based on E_b/N_0 -BER Characteristics", The 2nd International Symposium on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures, Sapporo, Jun 1998.Mo2-8 (1998)p.16.
7. K. Tsubouchi and K. Masu, "Al CVD Technology using DMAH for ULSI Multilevel Interconnection", Abstracts of Int. Workshop on Development of Thin Films for Future ULSI's and Nano-Scale Process Integration(Nagoya, Nov.26-27, 1998)p.34.

量子波動工学研究分野（客員分野）

電子／光波相互作用に基づいた
高効率高性能な光デバイスの創出

○分野の目標

結晶中の波動のふるまいを、マクロなデバイス構造およびミクロな材料構造の観点から解析し、さらに、ミリ波から光波までを体系的に扱うことにより、高効率で高性能な新しい光デバイスを創出する。

○主な成果

波長多重技術は光通信システムの高機能化に重要な役割を果たし、幹線系では一部実用化されつつある。一方、加入者系においてはコスト要素が加わるため新しいデバイス開発技術が求められている。多重量子井戸構造（MQW）のバンドギャップエンジニアリングにより、多重化された信号光を分離して受信する導波型フォトダイオードを提案し作製した。一本の光導波路に吸収端波長の異なるMQWを従属接続した構造を基本とし、レーザアシストMOMBE法を用いてモノリシックに作製する。結晶成長時にレーザ光を照射した部分の組成等が変調される現象を用いるため、シングルステップの結晶成長でウェーハ面内にバンドギャップの異なる領域をデザインできる。光照射部の量子井戸組成がInGaAsPからInAsPに変化する効果、量子井戸幅が減少する効果、歪み効果などが総合的に作用することが明らかとなり、結果的に130meVのバンドギャップシフトが観測された。作製した受光素子は $1.3\mu\text{m}/1.5\mu\text{m}$ の2波長において-24dBのクロストーク特性を示した。

光デバイス解析において偏波の取扱は実用上極めて重要である。従来無視されていた誘電率の微分を考慮し、数学的に厳密なセミベクトル有限要素法を提案した。この手法を各種断面形状をもつ導波路の等価屈折率計算に適用し、従来技術と比較したところ物理現象をもっとも正確に反映していることが明らかとなった。収束性も他の手法に比べて優れており導波路解析の有力なツールとなり得ることを示した。また、原理的に偏波無依存特性が保証される正方断面をもつ半導体レーザ型光スイッチを作製し、 $1.5\mu\text{m}$ 帯の広い波長範囲にわたりこれを実証した。

これからの通信・情報処理システムの開発においてはマイクロ波・ミリ波と光波を融合した技術

分野の開拓が望まれている。手始めにミリ波逆スロット線路を用いた光周波数シフターをXカットLiNbO₃基板上に作製し評価した。 $1.3\mu\text{m}$ の半導体レーザ光を注入し60GHzのミリ波で励振した結果サイドバンドレベル差4.5dBを得た。また、光照射HBTの変調特性についても評価を進めた。

大きな非線形性・非等方性や光学的バンドギャップの形成により注目されているフォトニック結晶に関し、半導体材料とのアクティブな複合化の観点から検討し予備的な実験を開始した。非晶質凹凸表面にエピタキシャル成長するなど、従来の半導体結晶の育成技術の枠を越えた新しい技術開発が必要とされる。

○職員名

客員教授 永沼 充（1997年より）

○教授のプロフィール

1971年横浜国立大学工学部電気工学科卒業。1976年東京工業大学大学院博士課程電子工学専攻終了（工学博士）。ただちに日本電信電話公社（現NTT）に入社。同社武蔵野電気通信研究所においてIII-V族化合物半導体超格子薄膜のMBE成長とその光物性の研究等に従事。この間1984年より1年間南カリフォルニア大学物理学科客員研究員。1987年よりNTT光エレクトロニクス研究所にて量子薄膜、量子細線等の量子閉じ込め構造を適用した通信用光デバイスおよび半導体光集積デバイスの研究開発等に従事。1997年4月より東北大学電気通信研究所量子波動工学研究分野客員教授に就任。1999年4月より帝京科学大学理工学部電子情報科学科教授。

○発表論文等

1. T.Takeshita, K.Yoshino, T.Ito, M.Okamoto, Y.Kondo, K.Kishi, T.Tamamura, Y.Suzuki, K.Magari, M.Yamamoto, and M.Naganuma, LD optical switch with p polarization-insensitivity over a wide wavelength range, IEEE J. Quantum Electron. Vol.34, No.2, pp.269-276, 1998
2. W.Chujo, T.Hanasaka, and M.Naganuma, Optical frequency shifter using coupled inverted slot lines at

- 60 GHz, Technical Digest of 1998 Asia-Pacific Microwave Conference, Vol.1, pp. 325.
3. K.Kato and Mitsuru Naganuma, High-speed photodetectors for millimeter-wave applications, Technical Digest of International Symposium on Novel Techniques and Applications of Milimeter-Waves, pp.71-75, Sendai, 1998
 4. Y.Suzuki, R.Iga, T.Yamada, H.Sugiura, and Mitsuru Naganuma, Crosstalkcharacteristics of a $1.3\text{-}\mu\text{m}/1.5\text{-}\mu\text{m}$ wavelength demultiplexing photodetector using laser-assisted MOMBE growth, J. Lightwave Technol., Vol.17, No.3 , pp.483-489, 1999
 5. T.Hanasaka, W.Chujo, and Mitsuru Naganuma, Optical intensity modulator and frequency shifter using inverted slot lines at 60GHz, Technical Digest of International Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT 99), pp.167-168, 1999
 6. 河野健治、鬼頭 勤、永沼 充、“2次元断面光導波路解析のための高精度セミベクトル有限要素法の提案”、電子情報通信学会論文誌C – I Vol.J82-C-I, No.4, pp.228-229, 1999

3.4 超高密度・高速知能システム実験施設の目標と成果

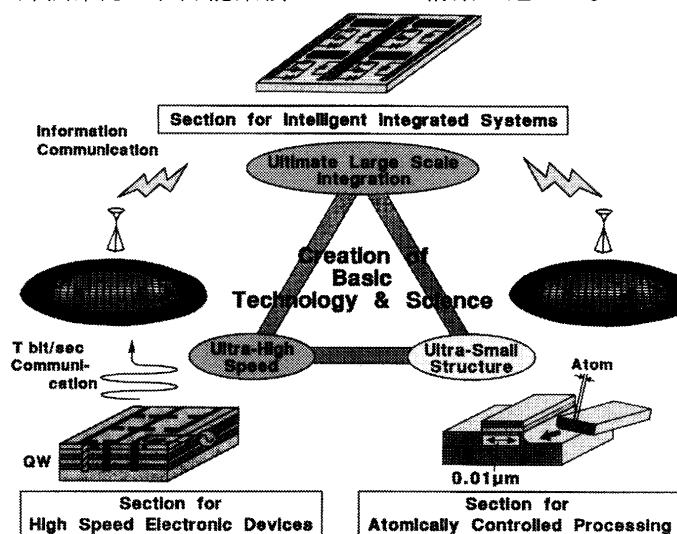
東北大学電気通信研究所超高密度・高速知能システム実験施設は、平成6年6月24日、極微細構造電子回路加工技術を進展させると共に、極微新機能電子デバイスの開発と、それらの性能を活用して高度な知能的処理を行い得る超高密度・高速知能システムの基盤技術を構築することを目的として設置された。

本施設は、原子制御プロセス部、超高速電子デバイス部、知能集積システム部の3部と、施設共通部から成る。原子制御プロセス部では、原子精度の極微構造（厚さ方向1nm、面内方向10nmスケール）を製作するため、新概念の微小領域高精度パターンニング技術、表面吸着・反応の解析・制御による原子オーダーの表面処理・成膜・エッチング技術、原子スケールその場観察評価分析技術等を研究開発し、原子制御プロセス基盤技術を創生する。超高速電子デバイス部では、超高速（Tbit/s）情報通信を可能にするため、半導体極微ヘテロ接合により形成する電子波などの極微細波動を用いて、光波・電磁波の発生・変調・増幅から検出までを行う高速エレクトロニクス・高速フォトンクス、多重伝送技術等を研究開発し、極微細波動基盤技術を創生する。知能集積システム部では、知的情報処理システムの構成法の確立、知的集積回路のCADとその製作、人工集積神経回路網の解析と応用、並びにそれに向けた新しいデバイスの開発を目標としている。それに伴い大規模集積回路の構成全般にわたる設計・製作・検査から組立までの新概念に基づく基盤技術の開発をも併せて行っている。これらにより超高密度・高速知能システムの構築を目指す。また、電気通信研究所の各部門およびその構成要素である研究分野、さらに工学研究科の電気通信工学、電子工学専攻や情報科学研究科の各講座が研究開発した成果を有効かつ集中的に具体化すると同時に、全国の電気通信分野の研究者の英知を結集して共同プロジェクト研究を行う。

原子制御プロセス部では、IV族半導体を中心とした原子層形成プロセスの体系化を進めているが、本年度は特に、SiやGe表面でのC,P,N,WのCVD原子層吸着・反応について、表面水素終端や再配列超格子構造と関係付けながら明らかにした。また、ECRプラズマによるSiGe・Si窒化膜の原子層エッチング、Si表面の原子層窒化を可能にした。さらに、SiGe混晶を積層した共鳴トンネルダイオードの試作・評価を行った。

超高速電子デバイス部では、InAs/GaSbヘテロ接合を用いた量子カスケード構造から電流注入によりサブバンド間遷移に基づく赤外発光を初めて観測した。また、強磁性半導体(Ga,Mn)Asと非磁性半導体のヘテロ構造を用いた共鳴トンネル構造や三層構造におけるスピン依存電気伝導を明らかにすると共に、InAs系に格子整合する新しい強磁性半導体(Ga,Mn)Sbを作成した。

知能集積システム部では、集積化カオス発生回路の試作、新しいアナログ記憶デバイスを用いた集積化アナログ連想記憶システムの試作、人工神経回路における動的連想記憶回路の試作、また量子化結合神経回路の性能評価とそれを実現する集積回路の試作、さらに超伝導位相モードロジック回路の試作を行い、試作集積回路の目標性能を評価確認し、知能集積システムの構築を進めた。



原子制御プロセス部

原子精度の極微細構造製作のための基盤技術の研究

物質の加工すなわち薄膜形成やエッチングを原子オーダーの精度で制御するプロセス技術の開発は、将来の超大規模集積回路（ULSI）の大容量化・高速化や量子効果を積極的に利用した新機能デバイス製作、さらに、従来のバルク材料とは異なる未知の新物性を持つ材料の創生のために極めて重要である。本研究部は、ULSIに密接に関連するSi系材料の原子層加工技術、すなわち原子層成長と原子層エッチング、表面処理、並びに、低温ヘテロエピタキシャル成長とその極微細デバイスへの応用の研究を中心に行っている。

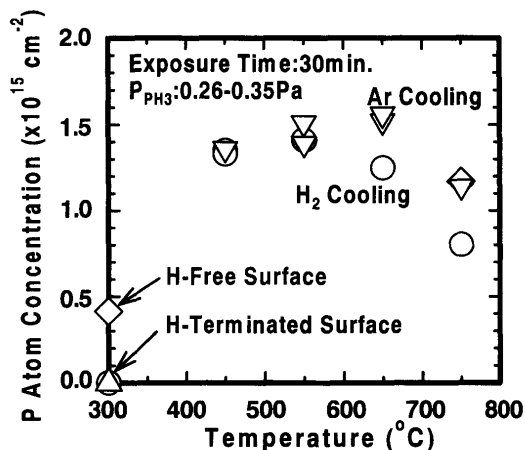
原子層成長制御CVD

Si集積回路製作への適応性を考え、原料ガスとして最も単純な分子構造でかつ取り扱いの容易な SiH_4 、 GeH_4 、 CH_4 等の水素化合物ガスを用い、IV族半導体のCVD原子層成長を実現してきた。連続的の反応を抑制するよう反応温度の低温化を図り、反応雰囲気の高清浄化により不要不純物の吸着を抑え、原料ガスの供給を止めることなく高い分圧（数Pa～数百Pa）に保ったまま単分子吸着層の形成を図る。そして必要に応じてこの吸着層のみをフラッシュ光照射による瞬時加熱で分解し、SiやGeの一原子層ずつの成長を可能にするという独創的な原子層成長制御の方式を用いている。本年度は特に、Ge表面へのSiとCの原子層成長およびSi成長におけるGe原子の表面偏析効果、 NH_3 による

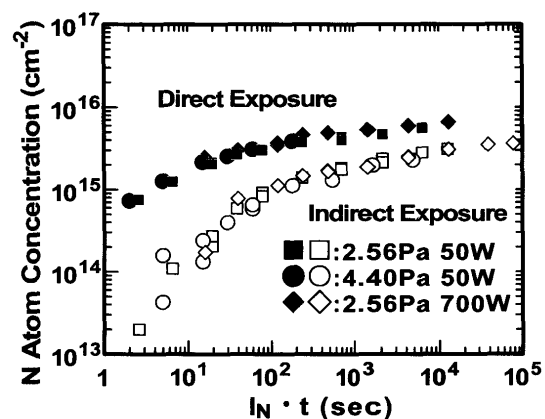
原子層熱窒化過程への瞬時加熱の効果、 PH_3 による原子層ドーピングにおける吸着・脱離過程とそれに対する水素の効果について明らかにした。また、W膜の原子層オーダーの成膜初期における吸着・核形成過程を明らかにした。

原子層プラズマプロセス

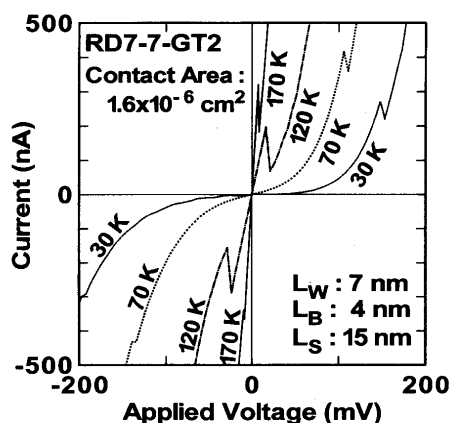
高純度電子サイクロトロン共鳴（ECR）プラズマエッチング装置を用いて表面への塩素の吸着と低エネルギー Ar^+ イオン照射を交互に行うことにより、Si、GeやSiGeの自己制限型原子層エッチングが可能であり、超微細パターン加工もできることを実証してきた。Si、Ge、SiGe共通して、塩素が飽和吸着している条件では Ar^+ イオン照射量が少なくて1サイクル当たり約1/4原子層がエッチングされ、 Ar^+ イオン照射量の増加と共に1原子層に飽和するエッチングがおり、また、Geの方がSiより反応性が高い。本年度は、絶縁体化合物であるSi窒化膜を取り上げ、まず役割分担型エッチング法により、水素添加Arプラズマを用いて励起水素とイオンの照射エネルギー・照射量の制御を行い、N原子とSi原子を交互に除去できることを実証し、絶縁体化合物の原子層エッチングへの路を開いた。また、NプラズマによりSi表面を原子オーダーで窒化制御できること、および窒化へのラジカルとイオンの寄与について明らかにした。



PH_3 によるSi(100)上のPの原子層吸着：雰囲気とした温度依存性



プラズマによるSi表面の原子オーダー窒化：規格化プラズマ照射量依存性

二重障壁 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 共鳴トンネルダイオードの電流電圧特性

低温ヘテロエピタキシャル成長と極微細デバイスの製作

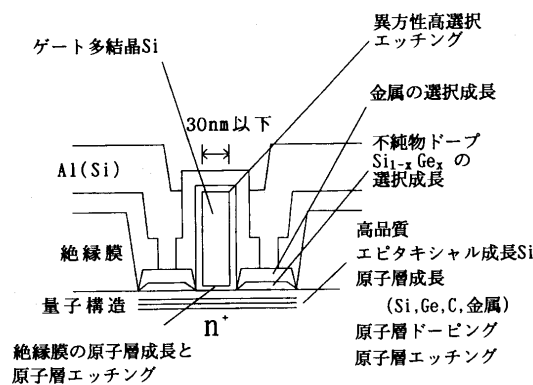
極微細Si-Ge系ヘテロデバイスの実現を目指して、SiGe混晶のSi上のみへの550℃という低温での高選択成長条件や、Si基板と選択成長SiGe混晶層の良好なpn接合特性を明らかにしてきた。また、これらをもとにBドーパシGe混晶の選択エピタキシャル成長層をソース・ドレイン層とする新しいMOSFET製作プロセスを構築し、ゲート電極寸法と実効チャネル長がほぼ等しい $0.075\mu\text{m}$ ルールのpチャネルMOSFETを実現した。本年度は特に、SiやSiGe混晶へのCの導入、SiGeへのB及びPの高濃度ドーピングと電極金属との低抵抗コンタクトの形成を研究した。また、より一層の素子の微細化を図ると同時に、ヘテロデバイス並びにCMOS回路への適用を進めている。一方、SiGe系ヘテロ成長加工を用いて共鳴トンネルダイオードの試作も進めている。

職 員

教 授 室田 淳一 (1995年より)

助教授 松浦 孝 (1993年より)

助 手 櫻庭 政夫



極微細構造形成プロセス

教授のプロフィール

室田淳一：1948年生まれ。1970年北大・工・電子卒。1972年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所入所。1983年同公社厚木電気通信研究所を経て、1985年東北大学電気通信研究所助教授、1995年同教授、現在に至る。半導体プロセスの研究に従事。

研究テーマ

1. 原子精度の薄膜成長，エッチング，表面処理に関する研究
2. プロセスにおける表面吸着と反応の機構とその制御に関する研究
3. 極微細パターンの形成と高精度不純物制御に関する研究
4. ヘテロ構造の製作と極微半導体デバイスに関する研究
5. ヘテロ界面の物理と化学

主な研究発表 (1998年度)

- 1) Low-Temperature Surface Reaction of CH_4 on Si (100), A.Izena, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, J. Crystal Growth, Vol.188, No.1-4, pp.131-136, (1998).
- 2) Atomic-Layer Surface Reaction of Chlorine on Si and Ge Assisted by an Ultraclean ECR Plasma, T. Matsuura, T.Sugiyama and J.Murota, Surf.Sci., Vol.402-404, pp.202-205, (1998).
- 3) Surface Reaction of Alternately Supplied WF_6 and SiH_4 Gases, Y.Yamamoto, T.Matsuura and J.Murota, Surf.Sci., Vol.408, No.1-3, pp.190-194, (1998).
- 4) Atomic-Order Thermal Nitridation of Silicon at Low Temperatures, T.Watanabe, A.Ichikawa, M. Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, J.Electrochem. Soc., Vol.145, No.12, pp.4252-4256, (1998).
- 5) Si-C Atomic Bond and Electronic Band Structure of a Cubic $\text{Si}_{1-y}\text{C}_y$ Alloy, Y.Fu, M.Willander, P.Han, T. Matsuura and J.Murota, Phys.Rev.B, Vol.58, No.12, pp.7717-7722, (1998).
- 6) Separation between Surface Adsorption and Reaction of NH_3 on Si (100) by Flash Heating, T.Watanabe, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, Jpn.J.Appl. Phys., Vol.38, Part1, No.1B, pp.515-517 (1999).
- 7) Doping and Electrical Characteristics of In-Situ Heavily B-Doped $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ Films Epitaxially Grown Using Ultraclean LPCVD, A.Moriya, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, Thin Solid Films, Vol.343-344, pp.535-537 (1999).

超高速電子デバイス部

半導体量子構造の物性と応用

超高速電子デバイス部では、半導体極微構造を用いて電子波や光波を制御する技術であって、次世代の超高速情報通信を可能とする、極微細波動基盤技術に関する研究を進めている。半導体の微細化を極限まで押し進めていき、構造が電子のドブロイ波長と同程度以下になると、電子準位が量子化された影響が半導体の電子・光物性に顕著に現れる。本研究部では、半導体内のスピンを含めた電子状態をさまざまな方法で制御し工学的に応用する立場から、この領域の半導体の構造、すなわち半導体量子構造を研究の対象とし、特に化合物半導体の量子構造の作製と物性の理解、それらのデバイス応用に関する研究をすすめている。具体的には以下の各項目について研究を進めている。

・半導体量子構造の形成

分子線エピタキシ（Molecular Beam Epitaxy, MBE）法を用いた高純度のAlGaAs/GaAs系量子構造や、界面や組成が制御されたInAs/GaSb系量子構造の結晶成長をはじめ、それらの量子構造形成に必要な原子層エピタキシ技術、リソグラフィ技術などのプロセス技術の基礎および応用に関する研究を進めた。本年度は、低温成長MBE法におけるGaAsの成長ダイナミクスを、反射高エネルギー電子線回折（RHEED）とモンテカルロシミュレーションにより考察した。

・量子構造によるTHz～遠赤外光発生の研究

量子構造中のサブバンド間の光学遷移によるTHz～遠赤外光の発生を実現するため、InAsの伝導帯がGaSbの価電子帯よりエネルギー的に低いところに位置するInAs/GaSbヘテロ構造の特異なバンドラインアップを利用した共鳴トンネル構造を用いることにより、キャリアのエネルギーフィルタリングを行って効率の良い発光を実験的に得ることを目指している。本年度は、このような特異なバンドラインアップからなる発光デバイスを製作し、本材料系において電流注入によるサブバンド間発光をはじめて観測した。

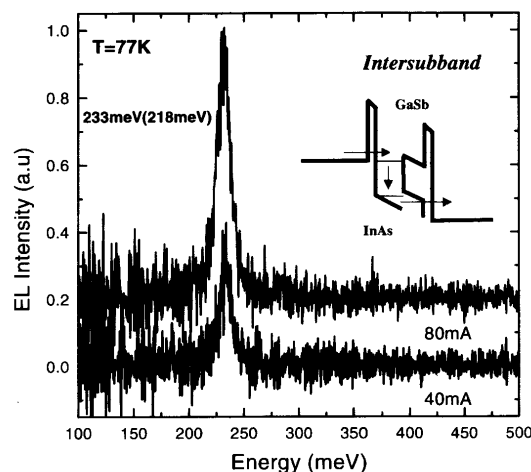


図 サブバンド間発光素子のバンド構造と発光スペクトル

・量子輸送現象の研究

量子構造における強磁場中の単電子凝縮など物理の基礎に関わるものから、単電子トンネル現象、超高速電子輸送現象などデバイス応用に関わるものまで、波動基盤技術の基礎物理への応用と位置付けて広い範囲を視野に入れて研究を進めている。本年度は、非磁性半導体中の2層2次元電子間のトンネル輸送におけるスピン依存性を明らかにした。また、結合量子井戸構造における分数量子ホール状態の研究では、層内と層間の相互作用による特異な量子ホール状態の相転移を観測し、2層の電子間に量子位相が存在する可能性を実験的に示した（理学部物理学科のグループとの共同研究）。

・超高速・超高周波デバイスに関する研究

半導体量子構造を用いた超高速・高周波電子デバイスの基礎的研究を行い、THz・Tbitデバイスを指向する。特に、半導体量子構造におけるキャリアの速いバンド間、あるいはサブバンド間の緩和過程、さらには超高速のスピン緩和過程を利用した光スイッチ等の研究を進めている。本年度は、GaAs/AlGaAsおよびInGaAs/InAlAs量子井戸構造における電子のスピン緩和時間のキャリア移動度、量子化エネルギー、および温度依存性を明らかにし、スピン緩和のメカニズムについて知見を得た。

・半導体のスピン物性と応用

エレクトロニクスに既に応用されている非磁性III-V族化合物半導体中の一部の原子を磁性原子に置換した強磁性半導体は、キャリアのスピンを情報担体とする新しい半導体デバイスの材料として近年注目が高まっている。本年度は、磁性半導体(Ga,Mn)Asにおけるキャリアと磁気モーメントとの相互作用の大きさを定量的に見積もるとともに、磁性/非磁性/磁性半導体3層構造においてスピン依存散乱により生じる磁気抵抗をはじめて観測した。また、新しい磁性半導体(Ga,Mn)Sbの形成にはじめて成功した。

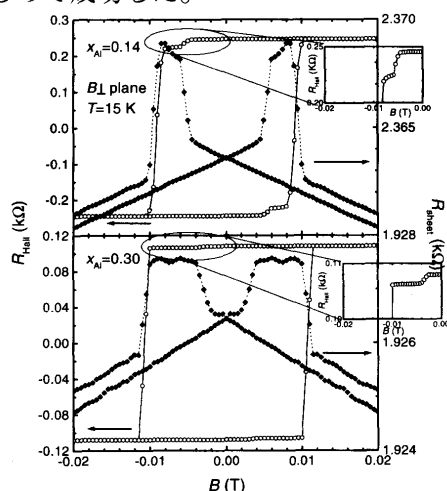


図 GaMnAs/GaAs/GaMnAs3層構造の磁気抵抗

研究テーマ

1. 半導体量子構造の形成に関する研究
2. 超高速・超高周波デバイスに関する研究
3. 量子構造によるTHz～遠赤外光発生の研究
4. 量子構造における量子輸送現象の研究
5. 半導体のスピン物性と応用

職 員

教 授 大野 英男 (1994年より)

助 手 松倉 文礼

大野 裕三

リサーチアソシエイト 安田 晴行
王 善力

COE研究員 大谷 啓太

篁 耕司

秘 書 佐々木延子

教授のプロフィール

1982年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982年北海道大学講師、1983年北海道大学助教授、1988-1990年IBM T.J. Watson研究所客員研究員、1994年より東北大学教授。

一貫して化合物半導体の分子線エピタキシおよ

び有機金属気相成長法を用いた薄膜・超構造の結晶成長を行い、その電氣的・光学的物性の解明と電子デバイス、光デバイスへの応用の研究を進めてきた。

現在最も高い周波数で動作する電界効果トランジスタ材料であるAlInAs/GaInAsヘテロ接合を初めて実現しそれを用いたMESFETを製作してその後の超高速電子デバイス応用の端緒をつくった。

1988年よりIII-V族ベースの希薄磁性半導体の研究を開始し、それまで存在しなかったIII-V族希薄磁性半導体(In,Mn)Asを初めて創成した。さらに最近では(Ga,Mn)Asの成長に成功しGaAs系デバイス応用への道を切り開きつつある。

主要な発表論文

1. H. Ohno, "Making nonmagnetic semiconductor magnetic," Science, vol. 281, pp. 951-956, 1998.
2. H. Ohno, N. Akiba, F. Matsukura, A. Shen, K. Ohtani, and Y. Ohno, "Spontaneous splitting of ferromagnetic (Ga,Mn)As observed by resonant tunneling spectroscopy," Applied Physics Letters, vol. 73(3), pp. 363-365, 1998.
3. N. Akiba, F. Matsukura, A. Shen, Y. Ohno, H. Ohno, A. Oiwa, S. Katsumoto, and Y. Iye "Interlayer exchange in (Ga,Mn)As/(Al,Ga)As/(Ga, Mn)As semiconducting ferromagnet/nonmagnet/ferromagnet trilayer structures," Applied Physics Letters, vol. 73(15), pp. 2122-2124, 1998.
4. H. Ohno, "III-V based ferromagnetic semiconductors," J. Magnetism Society of Japan, vol. 23, pp. 88-92, 1999.
5. K. Ohtani and H. Ohno, "Intersubband electroluminescence in InAs/GaSb/AlSb type II cascade structures," Applied Physics Letters, vol. 74(10), pp. 1409-1411, 1999.
6. H. Ohno, F. Matsukura, T. Omiya, and N. Akiba, "Spin-dependent tunneling and properties of ferromagnetic (Ga,Mn)As," J. Appl. Phys., vol. 85(8), pp. 4277-4282, 1999.

他 計28篇

著書

大野英男、「半導体結晶成長」 大野英男編著、コロナ社、1999年。

口頭発表

国際会議／ワークショップ 34件(うち招待講演11件)
国内会議 28件

知能集積システム部

集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

〈部の目標〉

集積回路の大規模化とデジタルデバイス的高速化は情報処理の量と質を飛躍的に高め、現在の情報化社会を築き上げるとともに将来の発展に向かって前進を続けている。その方向は質と量の向上、つまり膨大な情報の知的な柔軟性のある高速処理の実現である。知能集積システム部ではこの方向に向かって、しかしデジタル素子的高速化のみではなく、回路・システムレベルからの広い可能性を加えて検討し、知的情報処理システムの構成法の確立、知的集積回路のCADとその製作、人工集積神経回路網の解析と応用、並びにそれに向けた新しいデバイスの開発を目標としている。それに伴い大規模集積回路の構成全般にわたる設計・製作・検査から組立までの新概念に基づく基盤技術の開発をも合わせて行っている。

これまでに神経回路網が目的とする動作を正確に行う設計法と同時に神経回路網のキーデバイスとなる新しいアナログメモリを開発、これらを用いて信頼性の高いパルス出力型でしかも超並列高速演算が可能な電流加算アナログ動作を行う神経回路網をシリコンチップ上に作り出した。このチップの製作にはCMOS集積化技術をベースにフローティングゲートと薄膜トランジスタの製作技術を同時に用いており、知的情報処理システムの集積化を進めるうえで技術的にも重要な位置づけを与えるチップとなっている。また超伝導デバイスを用いた位相モード計算機システムの基本論理回路の集積化にも成功している。さらに新たな機能を持つデバイスや知的回路構成法を探索しており、次の世代の情報処理システムのゲートレベルからの新構築を目指して研究を進めている。

〈過去1年間の主な成果〉

集積化人工神経回路網の学習回路に関して従来の対称な連続値結合強度を実現するモデルから、量子化された結合強度のモデル、非対称な結合強度のモデルへと発展させ、層状構造の回路の能力をボルツマンマシンをもとに理論と数値実験により評価し、新しく設計した集積回路の試作、測定評価を行い、知的情報処理システムの実現に向けての研究開発を継続した。

次に神経回路の能力を向上させると期待されているカオス発生回路の測定とその性能評価を行い、時系列情報の発生と記憶に関する解析のため、人工神経回路網における多数のリミットサイクルが同時共存する状態にカオス発生回路を結合し、動的連想記憶を実現できることを提案し、それを評価した。また非単調ニューロンモデルにより学習能力を向上させるための集積回路を製作・測定し、その結果を基に大規模な人工神経回路の能力を数値解析により評価した。

知的情報処理システムの一翼を担うとされる連想記憶システムの開発も続行し、新しいアナログメモリの各種改良を行い集積回路を試作、測定を通して各種動作の評価を行った。またシステムとしての集積回路を製作し、評価中である。その他に超伝導位相モード計算機システムの新しい加算回路の試作を行いその動作を検証、高速性、低消費電力性を実証、新たなFFTシステム構成を提案し、将来の情報処理システムとしての高い可能性を確認した。

〈職員〉

教授 中島 康治 (1995年より)

助手 佐藤 茂雄 小野美 武

〈教授のプロフィール〉

1949年仙台市生まれ、東北大学工学部電気工学科、同大学院博士課程修了の後、東北大学電気通信研究所助手、助教授を経て1995年より同研究所教授。ジョセフソン能動伝送線路に関する研究で博士の学位を取得、その後磁束量子・反磁束量子のソリトンとしての相互作用の直接観測に成功、その結果を基に量子力学的な位相の概念に基づく電子計算機システムを提案し、基本集積回路の試作と動作の検証を行った。さらにシリコン集積回路による知的情報処理の研究に進み、現在は連想記憶システムやニューラルネットワークによる知的情報処理システムの実現を目指している。

〈研究テーマ〉

1. 集積化ニューラルネットワークの基本構成に関する研究
2. 知的記憶システム・ダイナミックメモリの構

成に関する研究

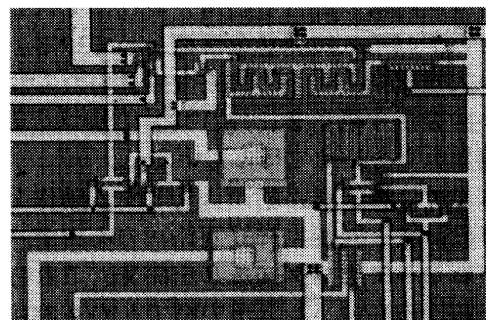
3. 集積化ニューラルネットワークの学習性能に関する研究
4. アナログメモリSDAMによる連想記憶システムに関する研究
5. 超伝導位相モード計算機システムに関する研究

〈主な研究発表〉

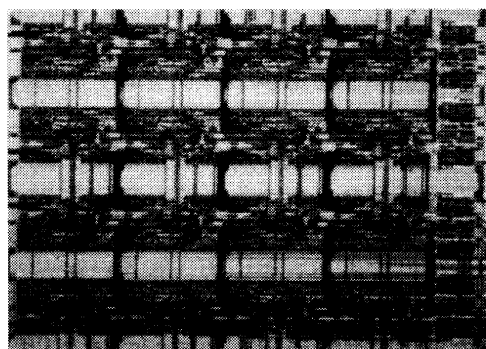
- (1) T. Onomi, Y. Mizugaki, H. Satoh, T. Yamashita and K. Nakajima: "Phase-Mode Circuits for High-Performance Logic", IEICE Trans. Electron., E81-C, 10, pp.1608-1617 (1998)
- (2) Y. Mizugaki, K. Nakajima, and A. Shoji: "Switching Delay of a Nonlatching Josephson Gate Evaluated from Ring Oscillator Operation", IEEE Trans. Appl. Superconduct., 8, 4, pp.188-191 (1998)
- (3) H. Tanaka, S. Sato, and K. Nakajima: "Integrated Circuits of Map Chaos Generators", IEICE Trans. Fundamentals, E82-A, 2, pp.364-369 (1999)
- (4) T. Harada, S. Sato, and K. Nakajima: "A Content - Addressable Memory Using "Switched Diffusion Analog Memory with Feedback Circuit"", IEICE Trans. Fundamentals, E82-A, 2, pp.370-377 (1999)
- (5) K. Nakajima: "Dynamic behaviors of an integrated circuit for recurrent neural networks", Proceedings of 1998 second Int. Conf. on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, vol.3, pp. 260-267 (1998)
- (6) K. Nakajima and T. Onomi: "Digital circuits based on single flux quanta", Extended Abstracts of the 1998 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, pp. 372 -373 (1998)
- (7) K. Nakajima: "Layered Neural Networks with Quantized Interconnections", Proceedings 1998 Int. Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, vol.2, pp. 459-462 (1998)
- (8) Y. Mizugaki and K. Nakajima: "Neuron-based A/D converter integrated with Josephson devices", Proceedings 1998 Int. Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, vol.2, pp. 441-444 (1998)
- (9) M. Kinjo, S. Sato, and K. Nakajima: "DBM learning in non-monotonic neural networks", Proceedings 1998 Int. Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, vol.2, pp. 455-458 (1998)
- (10) T. Onomi, Y. Mizugaki, K. Nakajima, and T. Yamashita: "Implementation of phase-mode logic circuits based on new integration design", Abstracts of 1998 Applied Superconductivity conference,

EFD-05, p. 89 (1998)

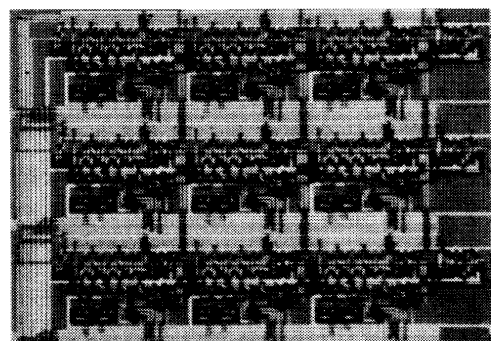
- (11) C. Park, Y. Katayama, and K. Nakajima: "Implementation of quantized connection neural networks and its application for pattern classifier", Proceedings of ITC-CSCC '98, pp. 1077-1080 (1998)
- (12) K. Nakajima and S. Sato: "Hardware integration for neural networks in RIEC Tohoku University", Proceedings of ICCCS '98 (The 1998 International Conference on Computers, Communications and Systems), pp. 5-14 (1998)
- (13) T. Harada, S. Sato, and K. Nakajima: "A New Floating-Gate Analog Memory and an Analog Content -Addressable Memory for Building a New Intelligent System", Proceedings of the Workshop on Synthesis And System Integration of MIXed Technologies, SASIMI '98, pp. 256-263 (1998)



カオス発生マイクロチップ



非単調ニューロDBMチップ



アナログ連想記憶チップ

3.5 評価・分析センター

材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析

センターの目標

評価・分析センターは、通研および電気情報系の研究分野内研究、施設の部内研究、共同プロジェクト研究ならびに各種共同研究を推進するために不可欠な、材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析を行うことを目的としている。これから超微細化・高性能化の要求がますます高まる材料・デバイスおよびシステムの開発において、評価・分析の精度・感度の向上が大きな研究課題になる。この課題に取り組むことが評価・分析センターの研究目標のひとつである。また、各研究分野の研究、施設の部内研究、共同プロジェクト研究などの研究を支援するために、共通の分析評価設備・機器の充実を図っていくことも本センター目標である。そのために、新機種の導入を図るとともに、各研究分野間の研究協力を円滑に進めるための体制づくりも行なっている。

センターの現状

本センターには、汎用X線回折装置、二結晶X線回折装置、走査型電子顕微鏡、X線トポグラフ装置、赤外分光装置、電子スピン共鳴装置、ヘリウム後方散乱装置、昇温脱離装置、原子間力顕微鏡、紫外・可視分光器、液体クロマトグラフィ装置、二次イオン質量分析装置、 μ RHEED装置、薄膜X線回折装置、X線カット面検査器、SQUID（磁化測定装置）、フォトルミネッセンス測定装置などが揃っている。昨年同様、これらの装置を所内外の研究者・院生・学生に公開し、所内の各研究分野の研究の支援や、共同プロジェクト研究の支援を行なった。特に使用頻度の高かった装置は昨年度と同様X線回折装置で、主な用途は半導体薄膜材料、磁性薄膜材料、超伝導体材料の構造評価であった。使用時間数は昨年同様の倍であった。赤外分光装置と原子間力顕微鏡も昨年同様使用頻度が高かった。装置の総使用時間数は、昨年度とほぼ同じ約3000時間であった。

利用頻度の多かった主な装置の使用研究室数及び使用時間数は以下の通りである。

装 置 名	使用 研究室数	使用 時間数
汎用X線回折装置	16	1160
二結晶X線回折装置	3	130
走査型電子顕微鏡	8	70
赤外分光装置	1	100
He後方散乱装置	3	50
原子間力顕微鏡	12	580
薄膜X線回折装置	7	120
赤外可視分光器	3	130
フォトルミネッセンス 測定装置	2	110

過去一年間の主な成果

評価分析センターでは、新しい分析・評価手法の開発が重要な研究課題である。

主な研究テーマは

1. 電子材料の高精度構造解析法の開発研究
2. 固体表面・界面原子レベル構造・組成評価法の開発研究

である。

センターではこれまでに、赤外反射分光を用いた新しい半導体表面分析法を開発してきた。昨年度は、溶液中シリコン電極表面状態のその場観察手法の開発を行い、本年度は、開発した装置を用いて半導体固液界面反応過程の研究を行ってきた。また、溶液セルを改造して、半導体電極反応の分析が迅速にできるようにした。図1が作製した装置の概念図である。赤外線が端面から入って逆戻りしてくるため、溶液の交換が容易になり、また、電極の取り付けも簡単になった。

本年度新たに開発したもう一つの測定法は、シリコンウェーハ表面上の有機汚染を高感度に評価する赤外分光モニタリング法である。赤外光学系の工夫により、300mm径のシリコンウェーハの表面分析も可能にした。大気中でも測定できること、非破壊で測定できること、測定時間が短いこと、インライン測定が可能であることなどこの測定法は多くの利点がある。

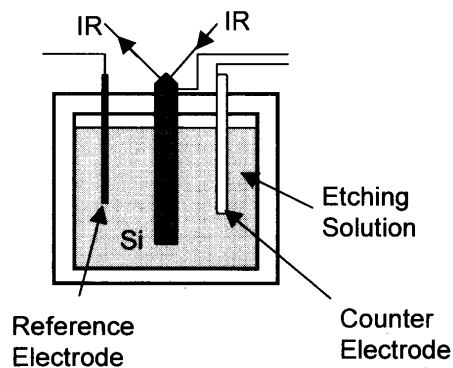


図1 半導体固液界面反応分析装置

この手法を用いて、実際に300mmシリコンウェーハ表面の有機汚染を評価し、表面感度が炭素原子密度換算にして、 10^{11} 炭素原子/cm²以下であることを確かめた。この感度は、充分実用に耐えるものであり、現在試作機のしあく気の装置メーカーとる。図2が測定装置の概念図である。図3は300mm径のシリコンウェーハ内を多重内部反射しながら進行する赤外線を可視化したものである。

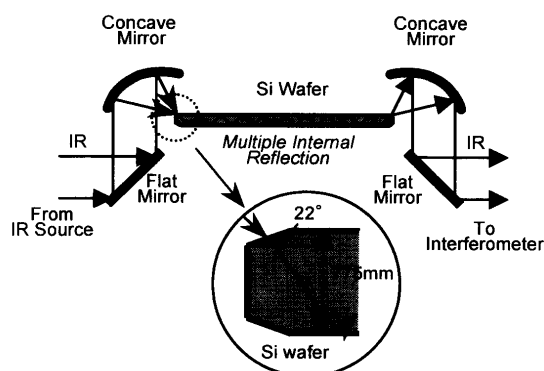


図2 シリコンウェーハ表面汚染モニタリング装置

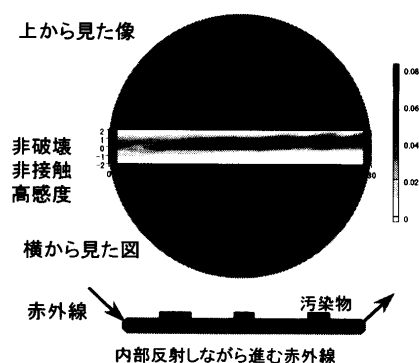


図3 300 mm径シリコンウェーハ内を進む赤外線の可視化像。

職員

センター長・教授(兼) 荒井 賢一 (1996～)
教授(兼) 庭野 道夫 (1998～)

過去一年間の主な発表論文

1. Michio Niwano: "In-situ IR Observation of Etching and Oxidation Processes of Si Surfaces," Surf. Sci. (in press).

新聞発表

日刊工業新聞 平成10年 8 月 5 日号

3.6 やわらかい情報システム研究センター

【センターの目標】

現在のコンピュータに代表される情報システムは、前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供するいわゆる「かたい」システムである。本研究の目的は、これまでの「かたい」情報処理原理を超えて、人間の意図や環境に合わせて柔軟な情報処理を行い、さらに視聴覚などの多元知覚情報をフルに生かすことによって柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の原理について理論及び実験を通して明らかにし、そのシステム構成論を確立することである。

また、学術情報の高度な組織化、利用、管理・運用、発信などのためのやわらかい分散システムの研究を行い、成果を通研所内の学術情報とネットワークの実際面への適用を通して手法の有効性を確認しながらその構成論の確立を目指している。

【研究テーマ】

- (1)生体の知覚情報処理に関する基礎研究
- (2)マルチメディア／マルチモーダル環境のための人工現実感に関する研究
- (3)やわらかいネットワークアーキテクチャに関する研究
- (4)人間－機械の共生空間の構成法とその応用に関する研究
- (5)情報ネットワークの高度な保守・運用に関する研究
- (6)学術情報の統一的な収集・組織化・発信・利用法に関する研究

【平成10年度の主な研究成果】

【1】研究会活動

以下の研究懇談会を1回行った。

[第1回]

日時：1999年2月2日(火)

場所：東北大学電気通信研究所2号館W301号室

- (1)「実視覚世界における自律的認識システムの構築にむけて」
坂本 一寛（矢野研）
- (2)「マルチモーダル環境における、環境音知覚の要因について」
鈴木 陽一（曽根研）

【2】研究活動

(1)マルチメディア環境における音環境理解の要因に関する研究

この研究では、平成9年度に導入したマルチメディア編集装置を用いて、さまざまな環境（生活場面）における音刺激と、それに映像を加えたマルチメディア刺激を作成した。

これらの刺激を用いて、音刺激が単独で提示された場合、それに言語情報を付加した場合、そして、マルチメディア刺激を提示した場合について、様々な評価語対を用いた評価実験を行った。

その結果、言語や映像による情報が存在しても、音環境理解の要因には大きな変化はないものの、具体的な場面の評価値自体には、これらの情報が大きな影響を及ぼしうることを明らかにした。

(2)生体の知覚情報処理に関する基礎研究

高速動画像提示システムを用いて、現在、「特徴統合による図と地の分離」についての心理物理実験を行っている。購入したシステムにより、図形提示の精度の高い時間制御、及び安定かつ微細なコントラスト制御が可能となった。

高速多チャンネル生体信号記録システムを用いて、現在、大脳皮質運動前野で近年発見された眼球運動関連領野のマッピング実験を行う予定であり、現在その準備をしている。

【3】情報システム管理運用

本センターでは通研の教官及び学生に最先端の計算機資源（ハードウェア、ソフトウェア）とネットワーク資源を提供するために情報システムの管理運用を行っている。本情報システムはSPARCアーキテクチャのUNIXサーバ10台を中核として構成されており、システム全体の理論最大性能は76.9 SPECint95 / 135.9 SPECfp95、主記憶は計7,520 MB、補助記憶は計111 GBである。

情報システム管理運用の内容は以下の通り。

(1)電子計算機の保守・管理

本センターの計算機資源を最善の状態に安定して提供するために、以下のような電子計算機の保守・管理を行っている。

a) 利用者のファイルのバックアップ

週に1回、利用者ファイルのバックアップを行っている。これにより、ハードウェアの故障及び

利用者自身の操作ミスなどでファイルが壊れた場合に1週間以内の状態に復旧することができる。

b) ハードウェア及びソフトウェアの保守と管理

電子計算機の性能を最大限に安定して発揮させるため、常にハードウェア及びソフトウェアの保守・管理を行っている。

(2) ネットワークの保守・管理

通研の計算機群は世界規模ネットワークであるインターネットに接続されている。本センターでは本情報システムのみならず通研全体に対し高速かつ安定したネットワークの利用を可能とするため、以下のようなネットワークの保守・管理を行っている。

a) 通研インハウスネットワークの保守と管理

所内各研究室と学内外を結ぶ基幹ネットワークである通研インハウスネットワークの保守・管理を行っている。これにより、所内各研究室からの高速かつ安定したネットワークの利用を保証している。

b) イメージメールの管理

学内で画像情報を含んだ文書の交換を容易に安定して利用できるようにするため、イメージメールの管理を行っている。

c) 通研内のIPアドレス及びドメイン名の管理

所内各研究室で使用するIPアドレス及びドメイン名の管理を行っている。

(3) 各種サービスの提供

本センターの計算機資源及びネットワーク資源を利用者が有効に活用できるようにするため、各種サービスの提供を行っている。

a) 通研WWWサーバの管理・運用

全世界に向けて安定して情報発信を可能とするため、WWWサーバの管理・運用を行っている。

b) メーリングリストの管理・運用

通研内の教官間の連絡や研究会や国際会議の連絡などに用いられるメーリングリストの管理・運用を行っている。

c) 電話回線からの接続サービスの管理・運用

本センターの計算機資源を遠隔地から利用可能にする電話回線からの接続サービスの管理・運用を行っている。これにより、本センターの高度な計算機資源を自宅及び出張先から効果的に利用することが可能となっている。

(4) 技術的支援と広報

通研内の電子計算機に関する技術的支援と広報を行っている。

a) 事務電子システムの技術的支援

事務の電子化の技術的支援を行っている。電子化によって、事務職員のみならず、事務の依頼を

行う教官の負担が軽減されている。

b) 通研ホームページの技術的支援

総務委員会が行っている広報活動の一部である通研ホームページの技術的支援を行っている。

c) 各研究室のホームページ公開の技術的支援

所内各研究室の全世界に対する情報発信であるホームページ公開の技術的支援を行っている。

d) 計算機に関する情報の提供

所内各研究室の計算機管理者及び利用者に対し計算機に関する有用な情報の提供を行っている。

e) 利用者からの問い合わせの対応

本センター利用者からの問い合わせに対応することにより、効果的な利用の手助けを行っている。

【職 員】

(1) 運営委員会

教 授 曾根 敏夫 (1997年より)
白鳥 則郎 (1997年より)
矢野 雅文 (1997年より)
沢田 康次 (1997年より)

(2) 実施委員会

委員長・教授 白鳥 則郎 (1997年より)
助教授 木下 哲男 (1997年より)
鈴木 陽一 (1997年より)
助 手 坂本 一寛, 坂本 謙二,
佐藤 信之, 菅沼 拓夫,
杉浦 茂樹, 高根 昭一,
陳 国躍, 早川 美徳
研究支援推進員 大學 紀子

【主な研究発表】

- (1) Toshio SONE, Koji ABE, Kenji OZAWA and Yo'iti SUZUKI, "Factor analysis of the perception of the evaluation of environmental sounds using adjectives describing sound quality, emotional states, and information carried by sounds," Proceedings 16th International Congress on Acoustics and 135th Meeting Acoustical Society of America 2, 2aPP39, pp.901-902 (1998).
- (2) 安倍幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "音色表現語, 感情表現語及び音情報関連語による環境音評価," 日本音響学会誌 54, pp.343-350 (1998).
- (3) 鈴木 剛, 坂本一寛, 矢野雅文, "空間周波数成分間の相互作用による見かけの奥行き変化," 電子情報通信学会 1999年総合大会論文集, D-2-28 (1999).
- (4) 加来俊彦, 坂本一寛, 矢野雅文, "視覚の仮現運動におけるグループ化の研究," 電子情報通信学会 1999年総合大会論文集, D-2-29 (1999).

3.7 コヒーレントデバイス研究センター

[センターの目標]

ブレインコンピュータの基本となる超並列システムを実現するためには、分散したプロセッサ間の通信機能と、それを最適化し管理することによって可能となる大容量最速並列情報処理・伝送が不可欠であり、これまでの先駆的研究成果を基に、新機能材料・デバイスの研究、大容量通信媒体の研究を進める。具体的には、以下の内容について研究を行っている。

○音声・データ・画像などの情報を、「いつでも、どこでも、誰とでも」各自が分散交換機能をもってやりとりできる携帯情報端末（Tele-Pad）の実現を目指す。このため、超高信頼無線通信システム、アナログ/デジタル信号処理回路・デバイス開発から、極微細プロセス技術、新しい弾性表面波（SAW）材料開発までを一貫して行う。

○「光波による光・電磁波の制御」を可能にする、光波からテラヘルツ波に至る非線形デバイスの研究を行う。誘電体ドメイン超格子や新たな構成の光パラメトリック発振技術等の光技術を駆使することにより、周波数スペクトル空間の開拓を行う。

○超伝導が有する超高速性及び低電力性は21世紀の情報・通信技術に極めて重要である。YBCOジョセフソン素子はミリ波ないしサブミリ波帯での電磁波検出素子として有望であり、超高感度電磁計測デバイス、及びコヒーレント波動デバイスへの応用の研究を行う。

○近年の電波資源の利用拡大により周波数帯にはほとんど余裕がない現状を踏まえ、未利用周波数帯であるミリ波の研究・開発を進める。ミリ波と光の相互作用を用いた、ミリ波/光デバイスの研究、逆スロット線路を用いた高効率ミリ波変調器の研究、及び、半導体中における光・ミリ波ミキシングの研究を行う。

○超高周波の弾性波（フォノン）の線形、非線形伝搬特性の解明とその波動を用いた周波数制御・選択、信号処理デバイス、及び、光・半導体キャリアとの相互作用を用いた機能デバイスの研究を行う。また、大きな電気機械結合係数と大きな音速をもつ圧電体単結晶及び圧電体単結晶薄膜材料の研究・開発を行う。

○最近世界で初めて作成に成功したSi/SiO₂系サブ

ミクロン周期3Dフォトリソニック結晶を応用して、導波路の実現や機能性材料の取り込みなどによる新機能デバイスの開発を目指している。これと並んで、コア拡大（TEC）ファイバなどの伝送路に薄型のデバイスを無調整で直接集積化したヴァーティカルフォトリソニックデバイスの高機能化を目指している。

○電波と光との境界領域であるミリ波・サブミリ波・テラヘルツ領域の技術を実用に供するため、この領域で動作する各種デバイスおよび計測システムを開発することを目的としている。つぎのキーワードを基本方針にして研究を進めている：常温・高速動作（10GHz以上）単一モード、CW、周波数可変、コヒーレント。

○数100GHz帯の高出力・高効率電子ビームデバイス、真空と半導体の機能を融合した新しいデバイスの研究を行う。具体的には、ミリ波・サブミリ波帯電磁波の広帯域、高効率発生と低エネルギー分散集積型電界放射陰極の開発とその応用研究を行う。

[1年間の主な成果]

○高温超伝導単結晶を用いて液体ヘリウム温度（マイナス269℃）で動作する単電子トンネル素子を実現した。Bi₂Sr₂CaCu₂O₈針状単結晶にFIB（集束イオンビーム）加工を行いサブミクロン単結晶素子を作成し、この素子面積を1ミクロン平方程度とすると、電子が1個ずつ通過する超伝導単電子トンネル現象が起こることが明らかになった。

○単電子トンネル現象を基礎とする電子素子は現在の半導体素子を微細化した場合の究極の素子として、その実現をめざし多くの研究が行われている。今回の実験結果は超伝導単電子素子がサブミクロン平方の大きなサイズで、しかも液体ヘリウム温度で動作する超伝導単電子素子を実現できることを示したものであり、大集積回路用の超伝導単結晶単電子トランジスタやメモリーの実現が期待される。

○NRDガイドの応用として、ミリ波レーダフロントエンドとミリ波平面アンテナからなる60GHz帯FM-CW車載レーダの試作に成功した。アンテナ

は59.5GHzで34.7dBの高利得平面アンテナを実現し、その他送受信機、直流電源回路など必要なものの全てが150mm×140mm×19mmのスペースの中に収納された、世界で最も薄いミリ波車載レーダを開発した。

○従来 K^2 が最も大きいとされていた LiNbO_3 の約10倍の値を有する KNbO_3 単結晶の、スパッタリング法による薄膜作製の研究を行った。その結果、分極操作を行わなくとも分極の向きのそろった薄膜が得られることが分かった。次に、強誘電分極のミクロな分極分布が純電氣的に行える走査型非線形誘電率顕微鏡の高分解能化の研究を行い、ナノメータオーダーの分解能を得た。また、10GHz帯ラダー型弾性表面波フィルターを開発し約3dBというこの周波数帯では脅威的に小さな挿入損失を得た。

○研究部門で考案・実証した3Dフォトニック結晶作製プロセス（自己クローニング）を駆使し、新しい機能を持つ光デバイスの研究・開発を行っている。まず、面型の偏光分離素子を考案・実現し、すでに実用レベルのものが得られている。また、本研究センターが作製したサンプルで極めて大きな分散によるスーパープリズム効果が発見され、WDM用素子への応用が期待されている。さらに、微小光回路システムの基本となる3Dフォトニック結晶内の導波路を実証した。

○サブミリ波帯の導波管素子を、マイクロマシン技術を用いて製作することに成功した。この技術は、10:1以上のアスペクト比を得ることが出来るUV硬化レジンを利用したもので、サブミリ波帯回路素子の低コストでの大量生産技術として実用的なものである。

○GaAs/AlAs量子井戸を持つ電界放射陰極を試作し、共鳴トンネル電子放射を世界で初めて観測した。また、ダイヤモンドライクカーボン被覆電界放射陰極により放射電流の高輝度化と電子放射機構を明らかにした。

[1年間の発表論文など]

- (1) Y.I. Latychev, S.J. Kim. and T. Yamashita, "Experimental evidence for Coulomb charging effects in submicron Bi-2212 stacks", JETP Lett., Vol 69, No.1(1999).
- (2) S.J. Kim, Y. I. Latychev and T. Yamashita, "Submicron stacked-junction fabrication from $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCuO}_{8+x}$ whiskers by focused-ion beam etching", Appl. Phys. Lett., Vol.74, No 8(1999).
- (3) S. Tomabechi, S. Kameda, K. Masu and K. Tsubouchi, "2.4GHz front-end multi-track AlN/a-

Al_2O_3 SAW matched filter", 1998 IEEE Int. Ultrasonic Sympo.(Sendai, Oct. 5-8, 1998)pp.272-273.

- (4) K. Tsubouchi and K. Masu, "Wireless Multimedia: SS-CDMA Technology", Proc. of Int. Sympo. on Future of Intellectual Integrated Electronics (Sendai, March 14-17, 1999)pp.259-268.
- (5) F.Kuroki, M.Sugioka, S.Matsukaea, K.Ikeda and T.Yoneyama, "High-Speed ASK Transceiver Based on the NRD-Guide Technology at 60-GHz Band", IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol.MTT-46, No.6, pp.806-810(1998).
- (6) T.Yoneyama, " Millimeter-Wave Research Activities in Japan", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT-46, No.6, pp.723-733 (1998).
- (7) Y.Wagatsuma and T.Yoneyama, " Planar Millimeter-Wave Car Warning Rader Using NRD-Guide", Int. Conf. On Microwave and Millimeter Technology ICMMT 98', pp.431-434, Beijing (1998).
- (8) K.Yamanouchi, H.Odagawa, T.Kojima, A.Onoe, A.Yoshida and K.Chikuma, "Piezoelectric KNbO_3 Films for SAW Device Applications", Electronics Lett., Vol.34, No.7, pp.702-703(1998).
- (9) K.Yamanouchi, H.Odagawa, K.Morozumi and Y.Cho, " A Surface Acoustic Wave Elastic Convolver Using a KNbO_3 Single Crystal Substrate", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, No.5B, pp.2933-2935(1998).
- (10) Y.Cho, K. Matsuura and J. Kushibiki, "Scanning Nonlinear Dielectric Microscope with Submicron Resolution", J. Appl. Phys, Vol.37, No.5B , pp.3132-3133(1998).
- (11) K.Nakamura, T.Miyahara, M.Yoshida, T.Hara and H.Ito, "A New Technique of Optical Ranging by a Frequency-Shifted Feed back Laser", IEEE Photo. Tech. Lett., Vol.10, No.12, pp.1772-1774 (1998).
- (12) K.Kawase, J.Shikata, M.Sato, T.Taniuchi and H.Ito, "Enhancement of terahertz-wave output from LiNbO_3 optical parametric oscillators by cryogenic cooling", Opt. Lett., Vol.24, No.4, pp. 202-204 (1999).
- (13) S.Haidar, K.Nakamura, E.Niwa, K.Masumoto and H.Ito, "Mid-infrared (5-12- μm) and limited (5.5-8.5- μm) single-knob tuning generated by difference-frequency mixing in single-crystal AgGaS_2 ", Appl. Opt. Vol.38, No.9, pp. 1798-1801 (1999).
- (14) 川上彰二郎, 花泉修, 佐藤尚, 大寺康夫, 川嶋

- 貴之, 安田納章, 竹井良彦, 三浦健太、「自己クローニングによる3次元フォトニック結晶の作製と応用」, 電子情報通信学会論文誌 C-I, vol.J81-C-I, No.10, pp. 573-581, 1998年10月(招待論文)
- (15) S. Kawakami, T. Kawashima and T. Sato, "Mechanism of shape-formation of 3D periodic nanostructures by bias sputtering", Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No.3, pp. 463-465 (1999).
- (16) O. Hanaizumi, Y. Ohtera, T. Sato and S. Kawakami, "Propagation of light beams along line defects formed in a-Si/SiO₂ three-dimensional photonic crystals: Fabrication and observation", Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No.6, pp. 777-779 (1999).
- (17) V.M.Lubecke, K.Mizuno and G.M.Rebeiz, "Micromachining for Terahertz Applications (Invited)", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. Vol. 46, pp. 1821-1831 (1998).
- (18) J.Bae, T.Unou, T.Fujii and K.Mizuno, "Spatial Power Combining of Gunn Diodes Using an Overmoded Waveguide Resonator at Millimeter Wavelengths", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol.46, pp. 2289-2294 (1998).
- (19) 荻戸立夫、ペイ鐘石、水野皓司、「ミリ波帯近接場顕微鏡」、レーザー学会誌、Vol.26, pp.546-550 (1998).
- (20) J.Ikeda, A.Yamada, K.Okamoto, Y.Abe, K.Tahara, H.Mimura and K.Yokoo, "Tunneling emission from Valence band of Si-metal-oxide-semiconductor electron tunneling cathode", J. Vac. Sci. Technol., B 16(2), pp. 818-821 (1998).
- (21) H.Mimura, G.Hashiguchi, M.Okada, T.Matsumoto, M.Tanaka and K.Yokoo, "Enhancement in electron from polycrystalline silicon field emitter arrays coated with diamond-like carbon", J. Appl. Phys., Vol.84, pp. 3378-3381 (1998).
- (22) Y.Neo, T.Otoda, H.Mimura and K.Yokoo, "Epitaxial Growth of Aluminum on Silicon Substrates by Metalorganic Molecular Beam Epitaxy using Dimethyl-Ethylamine Alane", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, No.5A, pp. 2602-2605 (1998).

3.8 スピニクス研究センター

【センターの目標】

磁性工学は常に先端技術として社会的に重要な応用を提供する役割を果たしてきており、現在においても、高密度ストレージ、パワーマグネティックス、マイクロマグネティックス、生体応用磁気分野など、ますます発展を続けている。しかし、主として電磁気学とミクロンオーダの磁区理論を中心に立脚している従来の磁性工学ではこれからの高度な発展を支えるのは不十分であり、メゾスコピック領域での研究が必須である。すなわち、次世代の高性能磁性材料及び磁性デバイス・システムの実現のためにはマクロな磁気特性や磁区理論を越えて、磁性材料を構成する微細結晶粒領域における物性の制御が必要である。また、超高密度磁気記録ではサブサブミクロン単位の分解能で極微小な面積に情報を記録・再生する議論が進められており、磁性薄膜のナノメータ領域の微細構造を作り込むことが強く要求されている。しかもこれらは極めて多様で学際的な側面を持っているので、研究の効率的なアウトプットの点からは各専門分野で閉じた研究ではなく、システム、デバイス、プロセス、材料の四者が密接にリンクした研究が望ましい。

このような背景から、スピニクス研究センターでは、ナノスケールに根ざした新しいマグネティックスの学理と応用を意味する”スピニクス”に基づいた材料物理、プロセス、デバイス、システムの研究を行っている。この統合された基礎研究基盤を通して、従来からの発想では得られなかった高性能の磁性材料を開発し、そのデバイス化、ハイブリッド化、システム化を実現することが目標である。

【主な研究成果】

本研究施設における具体的な研究テーマは材料、プロセス、デバイス、及びシステムの分野に大別される。

まず、磁性材料についてはストレージデバイスや磁気デバイス等の機能素子の開発上不可欠な軟質及び硬質の薄膜材料について検討するとともに、高飽和磁束密度低損失電力用磁性材料についても取り組んでいる。高感度薄膜応力センサ及び

磁気弾性効果材料の開発にも成果があった。これらの研究の結果、磁性材料のメゾスコピック領域の微細構造、異方性や磁歪などの物理的性質、並びに微細磁気構造の決定要因など、マイクロマグネティックスに関する知見を得ている。今後、超微粒子軟磁性及び硬磁性薄膜、センサ・アクチュエータ用機能薄膜、高感度磁界検出用多層薄膜、人工格子薄膜、高密度垂直磁気記録媒体など微細構造の制御された新しい磁性材料が得られると期待される。

次に、プロセスに関しては、磁気ヘッド、磁気デバイス、マイクロ磁気デバイス等の薄膜素子の集積化と微細組織の制御技術の確立を目指して、スパッタ法、蒸着法などによる製膜技術、三次元微細加工、多層成膜や平坦化处理などの多層化技術の開発を行っており、加工変質や加工劣化の定量的把握についても検討している。特に、マイクロ磁気デバイス用薄膜リソグラフィー技術については、その微細加工化を図っている。また、電力用磁性材料についての圧延、熱処理による組織及び方向性制御技術も重要なテーマである。また、本センターの主要設備である集束イオンビームエッチング装置によるナノメータオーダ微細加工技術を利用するデバイス解析も開始した。

デバイスとシステムについては、超高密度磁気記録デバイスとシステム、並びにマイクロ磁気デバイスとセンサアクチュエータ及びその集積化を柱とする研究を行っている。

超大容量ストレージ関連では、次世代超高密度ストレージを本所で提案された垂直磁気記録で達成するための研究を行なっている。リソグラフィーを駆使した全薄膜型超低インダクタンス記録ヘッドの試作を完了しており、優れた高周波特性や高記録感度性を有することなど高密度垂直磁気記録特性のデータを大きく前進させた。メディアについては、薄膜形成プロセスを制御した低ノイズ化の可能性について調べ、記録層の微細構造との関連や下地層に対する依存性などを明らかにした。特に、中間下地層の記録層の垂直異方性促進効果が大きいことを示している。上記のヘッド媒体系に試作した復調電子回路系を組み合わせ、エラーレートなどのストレージ特性のデジタル評

価も積極的に展開している。以上を組み合わせた超20ギガビット／平方インチ級の超高密度記録システムの検討を進めている。

一方、スピニクマイクロデバイス関係では、本センターの成膜・微細加工装置を利用して、まずSi-MMIC用GHz駆動超小形磁性薄膜インダクタ、 10^{-4} Oeの磁界感度を有する薄膜磁界センサなどを開発したほか、FeCrSiB膜/PZT接着型歪結合型電気磁気機能性素子において性能指数100,000を達成した。またそれらの高周波特性評価装置として超広帯域1MHz～3.5GHz薄膜透磁率測定装置や、電磁雑音二次元マッピング装置などを開発した。次に磁気トルクを用いた非接触駆動方式によって、ヒトの静脈流の中で駆動可能なマイクロ磁気アクチュエータを初めて実現した。現在これらの要素技術を統合し、医療福祉分野への応用を目的としたセンサーアクチュエータシステムの構築に挑んでいる。

【研究テーマ】

1. スピニク機能材料の研究
2. 多層リソグラフィプロセス技術の研究
3. スピニクマイクロデバイスの研究
4. 超大容量スピニクストレージの研究
5. 超高周波磁気物性測定手法の研究

【職 員】

教 授 中村 慶久
 教 授 荒井 賢一
 教 授 杉田 愼
 助教授 山口 正洋
 助教授 村岡 裕明
 助 手 島津 武仁
 助 手 石山 和志
 助 手 渡辺 功
 助 手 藪上 信
 助 手 山田 洋

【主な研究発表】

1. M. Takezawa, M. Yamaguchi, K. Ishiyama, K. I. Arai, "Trial on-silicon micromagnetoelastic devices", Journal of Applied Physics, vol. 83, No. 11, pp. 7303-7305 (1998)
2. M. Takezawa, H. Kikuchi, K. Suezawa, M. Yamaguchi, K. Ishiyama, K. I. Arai, "High Frequency Carrier Type Bridge-Connected Magnetic Field Sensor", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 34, No. 4, pp. 1321-1323 (1998)
3. 藤山陽一, 山田康晴, 菊池弘昭, 山口正洋, 荒井賢一,

「可飽和型リングコアを用いた薄膜電流センサの試作」, 日本応用磁気学会誌, vol. 22, No.4-2, pp. 705-708 (1998)

4. 山口正洋, 高橋祐一, 荒井賢一, 菊池新喜, 「ウエハプローブを用いた薄膜インダクタの高周波インピーダンス測定」, 日本応用磁気学会誌, vol. 22, No. 4-2, pp. 861-864 (1998)
5. 佐々木保, 村岡裕明, 中村慶久, 「二層膜媒体を用いた垂直磁気記録における媒体厚みの影響」, 日本応用磁気学会誌, 22, pp.237-240 (1998)
6. H. Muraoka, K. Sato and Y. Nakamura, "Extremely Low Inductance Thin-Film Single-Pole Head on Flying Slider", IEEE Trans. Magn., 34, pp.1474-1476 (1998)
7. 山田洋, 村岡裕明, 杉田愼, 中村慶久, 「薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドのオフトラックオーバーライト特性」, 日本応用磁気学会誌, 22, pp.293-296 (1998)
8. 村岡裕明, 三浦健司, 杉田 愼, 中村慶久, 「単磁極記録ヘッド・微分型波形変換による二層膜垂直磁気記録のデジタル特性評価」, 日本応用磁気学会誌, 22, Supple.S3, pp.47-52 (1998)
9. W.H. Jiang, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Thermal Relaxation in Perpendicular Double-Layered Media", IEEE Trans. Magn., 34, pp.1645-1647 (1998)

3.9 附属工場

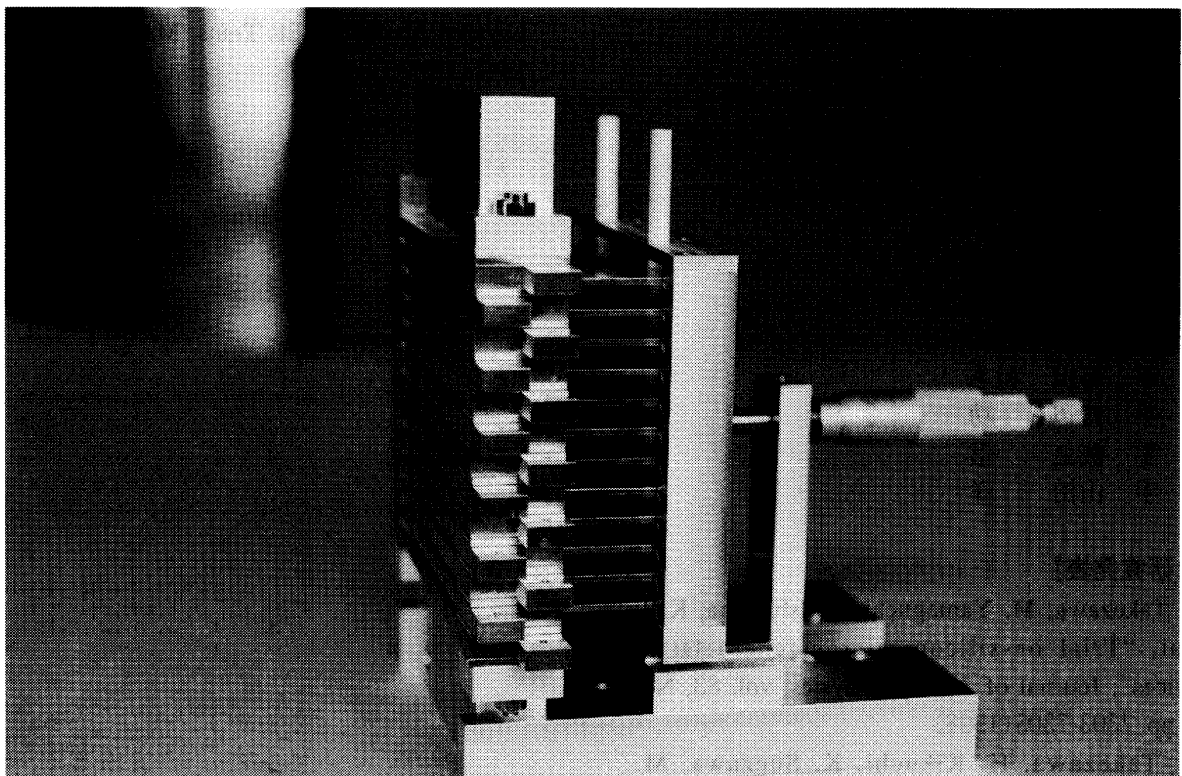
本附属工場は、研究所附置の工場として、各分野、施設からの要求に応じて、電気通信研究用の各種の実験装置の設計、試作をはじめ、学生、教職員への工作指導を行っている。工作の方法としては、旋盤、フライス盤等による精密機械工作が主であるが、本工場は従来より新しい工作方法を採り入れることにも積極的で、超音波加工、ガラス研磨の技術、ステンレス材、アルミニウム材の溶接技術をいち早く修得し、各種超高真空容器等の精密工作を通して半導体界面、磁気記録の研究を始め種々の電気通信の研究に多大な貢献をしている。これらの精密工作を行うために本工場では、恒温の精密工作室、湿度調整の可能なアルゴン溶接室、アルミニウム溶接室、また真空リークテスト室などを設備している。

平成10年度に製作した主な実験機器は下記の通りである。

外耳測定部品、電気炉筐体、水冷ジャケット、ミリ波変換器、 TH_z 波発振器、
スパッタ用基盤ホルダー、TOF分光システム、ミリ波双曲線、カセグレン鏡一式、
ECRプラズマ生成用アンテナ、アルミシャドウマスク、電子ビーム用チャンバー、
60G帯ホーンアンテナ一式、金属格子型ファブリ・ペロー発振器、スピンコーター用ヘッド、
ミリ波帯発振器用精密スライディングショート、光ファイバー格納ケース

主な機械設備

旋盤 15台、フライス盤 13台、ボール盤 6台、切断機 7台、プレーナー 1台
治具ボーラー 1台、溶接機 6台（アルゴン交直両用 3台）、微細放電加工機 1台
真空リーク検出器 3台（ 2×10^{-11} atm cc/sec）



金属格子型ファブリ・ペロー発振器

第 4 章 通研重点推進研究

平成10年度通研重点推進研究

「超高密度スピニックストレージシステムの研究」

1. 研究代表者、分担者

<代表>

情報記憶システム研究分野 教授 中村慶久

<分担>

情報記録デバイス工学研究分野 教授 杉田 愼

情報記録デバイス工学研究分野 助教授 村岡裕明

情報記録デバイス工学研究分野 助手 島津武仁

情報記憶システム研究分野 助手 山田 洋

2. 研究目的

次世代情報通信システムにおいては、高速ネットワーク上であらゆる情報をバリアフリーでアクセスできるシステムを提供しなくてはならない。特に、今後飛躍的な普及が予測される、高細精度動画情報などの大容量マルチメディアデータは、格段に容量が大きい上に切れ目のない高速転送が強く要求される格段に負荷の重いコンテンツである。これを破綻なく処理できる超大容量・高速ファイルストレージシステムはまだ適当なものが実現されておらず、将来のネットワーク化された情報システムの実現の制約ともなっている。

本研究は、本所で提案された超高密度記録が実現できる垂直磁気記録を発展させて、超大容量ストレージシステム技術として確立することを目標とするプロジェクトである。

3. 本年度の研究成果概要

3.1 超高密度垂直磁気記録機構の研究

垂直磁気記録には、長手記録では実現が困難と思われる超100Gbits/inch²の超高密度記録の可能性が期待されている。これを先導的に明らかにするために、超高密度記録機構の体系化及び設計指導原理の確立を目指してスーパーコンピュータシミュレーションによる高密度垂直磁気記録機構の研究を行った。これまで本分野では、定量性に優れたカーリング磁化モデルを用いたコンピュータシミュレータを開発しており、近年トラック方向の挙動を明らかにするためにこれを3次元化した検討も開始している。この研究蓄積を活用した。

本年度は、まず垂直磁気記録の特長である高密度時の十分な信号強度をさらに改良する目的で、2次元計算を用いて高線密度における高出力媒体

の条件を探索した。図3-1-1は、垂直記録媒体の保磁力と保磁力分散に対して、400kfc_iにおける外部漏洩磁界強度を媒体表面で計算した結果である。高保磁力化、低保磁力分散化により著しい高出力化が期待できることが示されている。

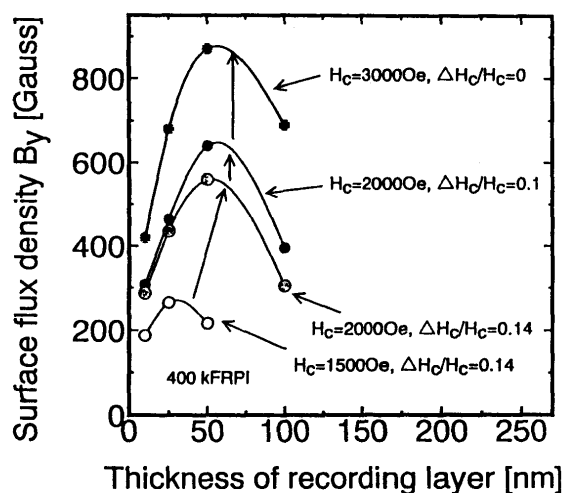


図3-1-1 記録媒体の保磁力分散に対する400kfc_iの媒体表面漏洩磁界の変化



図3-1-2 100Gbits/inch²のオフトラックオーバーライト記録ビットパターン。

さらに3次元シミュレーションにより、超高面密度記録のシミュレーションを行った結果が図3-1-2である。同図は203kTPI (75nmトラック幅)で、508kfc iと406kfc iの線密度でオフトラックオーバーライトした100Gbits/inch² 記録の3次元記録ビットパターンである。隣接トラック干渉が小さく十分な分解能が達成できることが示されている。さらに高い記録密度である206Gbits/inch²のシミュレーションを行った。図3-1-3がその結果であるが、同図では記録層厚を50nmと25nmとして、203kTPI/1016kfc iの記録パターンを計算している。ここで記録層膜厚をパラメータとしたのは、単磁極ヘッド磁界勾配が記録プロセスでは分解能を決める重要な因子であり、記録層膜厚を薄くして裏打ち層と主磁極間の距離を狭めることで、急峻な磁界分布を実現できる可能性を調べるためである。同図は必ずしも十分にSN比の高い記録状態ではないが、薄い記録層の方が明確なビットパターンとなっており、記録厚みを現状の50nm程度の厚みから25nm程度まで薄くすることが100Gbits/inch²以上の高面密度記録には効果的なことが明らかになった。

3.2 高分解能垂直磁気ヘッド

次世代垂直磁気記録のキーデバイスと位置付けている磁気ヘッドとして、理想的な励磁メカニズムを持つ薄膜導体励磁型単磁極ヘッドがある。この研究と試作を行った。本ヘッドの基本構造を図3-2-1に示す。薄膜プロセスとリソグラフィを用いて試作されており、本年度はプロセスの改良を加えながら試作を繰り返し、前年度より記録感度を改善でき、AMRあるいはGMR素子とのマージ化が可能な実用的なヘッドを実現できる見通しを得た。

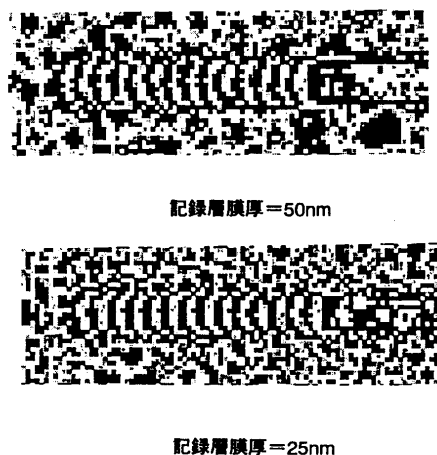


図3-1-3 206Gbits/inch²の3次元記録ビットパターン。セルサイズは12.5nmで、トラック幅は75nmである。

また、単磁極ヘッドの特長である低インダクタンス性についても、その絶対値は極めて小さいのでより高精度の測定が必要であった。また、実動作状態では二層膜記録媒体の軟磁性裏打ち層のためにインダクタンスが変化する可能性もある。超高周波インダクタンス計測に深い研究蓄積を有する本所スピニエレクトロニクス研究分野の協力を得て、より高精度の測定を試みた。その結果を図3-2-2に示しているが、インダクタンスはほぼ1nHと従来ヘッドの約50nHに比べて極めて小さい値であることが示された。また、このインダクタンスはヘッド磁極を飽和させた状態でも低下量が小さい。これは磁性体によるインダクタンス寄与はまだ小さく、本ヘッドのインダクタンスはボンディングパッドに至るリードパターンの影響の方が大きいことを意味している。これは同時に、今後巻線数増加などの記録起磁力の増加を行っても低インダクタンス性を保つことが可能なことを示唆している。さらに、記録媒体を近接させた場合でもインダクタンスの増加量は小さいので、実動作状態でも低インダクタンス性が保たれていると言える。

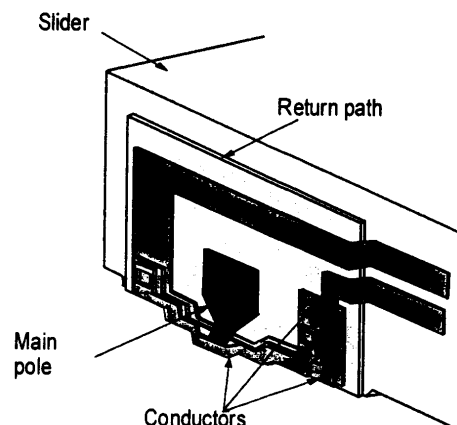


図3-2-1 高分解能薄膜導体励磁型単磁極ヘッドの概略構造

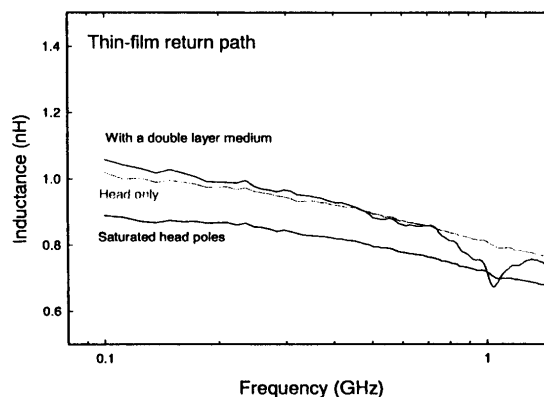


図3-2-2 薄膜導体励磁型単磁極ヘッドのインダクタンスの周波数特性

さらに、この薄膜導体励磁型単磁極ヘッドをより高感度化・高磁界強度化するために、ヘッド構造因子の最適化に関するシミュレーション解析も行った。その結果、リターンポール厚さ及び主磁極リターンポール間隔は、記録感度、磁界強度ともにほとんど影響がないことが分かった。これらは現状の薄膜導体励磁型単磁極ヘッドの磁路構成において、リターンポールの磁気抵抗は相対的に小さいことと主磁極とリターンポール間での磁束漏洩も小さいことを意味している。従って、記録感度の改善には磁路の全磁気抵抗に対して影響の大きい主磁極と裏打ち層間の距離を短縮するのが効果的と推定される。

また、今後の記録媒体の高保磁力化に対して、単磁極ヘッドの記録磁界強度の改善は必須である。現状ではCoZrNbアモルファス膜を主磁極に用いているために、飽和磁束密度は12kG程度である。最近のFe系の軟磁性材料には20kG近い高飽和磁束密度が期待されるものがあるので、ヘッド主磁極と裏打ち層の高飽和磁束密度化によるヘッド磁界強度の改善効果を計算したところ、これらの軟磁性材料の高飽和磁束密度化はヘッド磁界を大きくするのに効果があることが示された。今後、この結果に従い高飽和磁化膜の検討を行う。

3.3 垂直二層型磁気記録媒体の高性能化

磁気ヘッドと並んで、記録媒体は高密度性を直接左右するデバイスで、高分解能性、低ノイズ性が強く求められる。このためには、記録磁性膜のナノスケールでの微細構造の制御が必要である。記録層の微細構造の制御には、非磁性シード層を下地として用いることが有用であるが、一般に用いられるTi膜などの厚みは50nm以上と厚いため、二層膜媒体では、Ti層の挿入による裏打ち層と記録層間のスペース形成が記録分解能を低下させてしまう問題があった。そこで、Ti膜をシード層に用いたCoZrNb/Ti/CoCrTa二層膜媒体を作製し、Ti層の厚みの低減と微細構造・磁気特性との関係を検討した。

図3-3-1は、Co₈₂Cr₁₇Ta₁記録層の保磁力H_cのTi層厚依存性を示す。図中には、Ti膜を室温および230℃で作製した場合のそれぞれの結果と共に、Al基板上に裏打ち層を製膜せずに230℃で作製した場合の結果についても示した。Ti膜の製膜温度が230℃の場合には、5nmのTi膜を製膜することでH_cは急激に増加し、その後、若干低下する傾向を示す。このようなTiシード層がCoCrTa記録層の磁気特性に与える効果は、記録層の膜厚が薄いほど顕著であったが、5nm以上のTiシード層厚では、

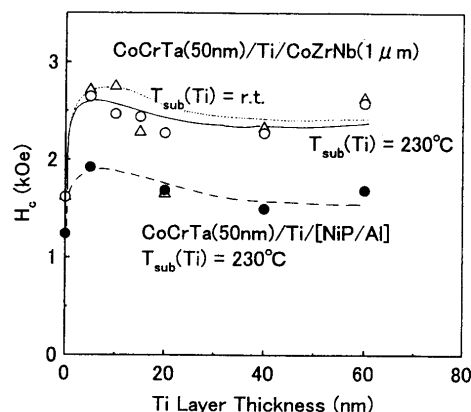


図3-3-1 CoCrTa記録層保磁力のTi層膜厚依存性。

Ti厚の違いによる磁気特性の違いは観察されなかった。このように、230℃の基板温度でTi膜を製膜することで、一般に用いられているTiシード層の厚みよりも1桁程度薄い5nm程度のTiシード層厚において、保磁力、角型比などの媒体の静磁気特性を改善することが可能である。これは、Ti膜の製膜温度を230℃としたことでTi膜の二次元性

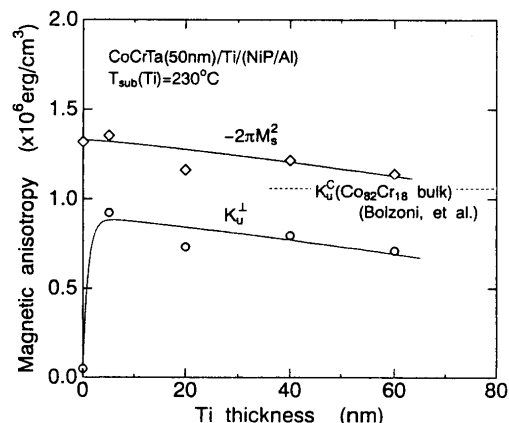


図3-3-2 CoCrTa記録層の垂直磁気異方性Ku_⊥のTi膜厚依存性。ここでKu_⊥は、測定値から膜形状による反磁界エネルギー $-2\pi Ms^2$ を差し引いた値である。

が良くなったことと、その後のCoCrTa層の製膜(230℃)が連続的に行えることからTi膜表面の清浄性が保たれるためであると推察される。このような磁気特性の変化は、媒体の磁気異方性、および構造の変化と強く結びついている。垂直磁気異方性Ku_⊥ならびに反磁界エネルギー $-2\pi Ms^2$ のTi膜厚依存性を図3-3-2に示す。比較のために今回の記録層の組成に最も近いCo₈₂Cr₁₈合金のバルク材料における結晶磁気異方性Ku_⊥も合わせて示した。Ku_⊥の値は、5nmのTi膜を製膜することで急激に増大して最大値を示した後で、徐々に低下している。この5nmにおけるKu_⊥の大きさは、Ku_⊥と比較的近い値を示しており、このことは、結晶粒のc軸(磁化容易軸)の垂直配向性が優れた膜が、Ti膜

厚が5nmで得られていることを示している。AFM像および残留磁化状態のMFM像の観察の結果、Tiシード層を用いることでCoCrTa層の粒径は増加しており、10nmのTi膜厚を挿入した媒体の結晶粒径は、Ti膜が無い場合の2～3倍程度、磁氣的クラスターの大きさは1.5～2倍程度増加した。この点から見れば、より薄いTi膜をシード層として用いることが媒体の高密度化に適していることがわかる。

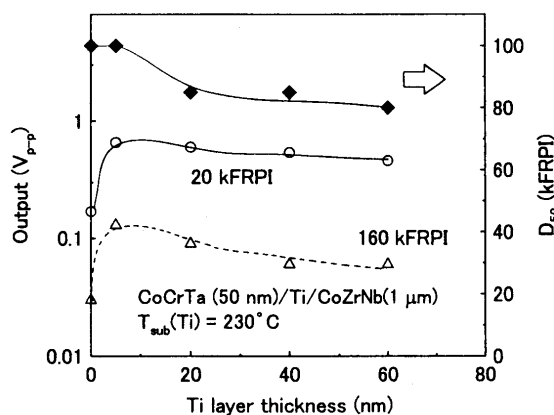


図3-3-3 媒体の再生出力と D_{50} のTi膜厚依存性。

図3-3-3に、20kFRPIおよび160kFRPIにおける媒体の再生出力と D_{50} のTi膜厚依存性を示した。Tiを5nm挿入することにより出力が3倍程度増加し、その後徐々に低下しており、薄いTiシード層の挿入が媒体の高出力化に効果的に作用していることがわかる。一方、Ti膜厚が厚くなると D_{50} 値が徐々に減少しており、これは、ヘッドと裏打ち層間のスペースの増大にともなう記録分解能の低下に起因するものと考えられる。しかし、Tiを5nm程度挿入したことによる D_{50} 値の低下は観察されていない。このことから、5nmの薄いTiシード層を用いた場合には、 D_{50} の明確な低下を招くことなく、出力を増加させることが可能であることが分かる。

3.4 垂直磁気記録再生システム及び信号処理方式

上述したように薄膜励磁型単磁極ヘッドは改善を繰り返した結果、実用性の高い段階に達しつつあり、同時に垂直磁気記録用ディスクについても一定の完成度を持つものが試作されている。これらの成果から、従来のデバイス中心の研究から垂直磁気記録システムとしてのデジタル特性を対象とする研究を開始できる状態になりつつある。典型的な課題が最終的なシステム性能であるエラーレートに関する研究である。

本プロジェクトでは、上述の薄膜導体励磁型の浮上ヘッドを記録専用ヘッドに、再生ヘッドはト

ラック幅 $1.4\mu\text{m}$ のAMRヘッド（シールド間隔 $0.21\mu\text{m}$ 、浮上量は40-50nm程度）を録再分離型の構成で用い、現在では最も理想的と考えられる二層膜型の垂直磁気記録媒体を用いる垂直磁気記録系について、そのシステム性能の評価を試みた。

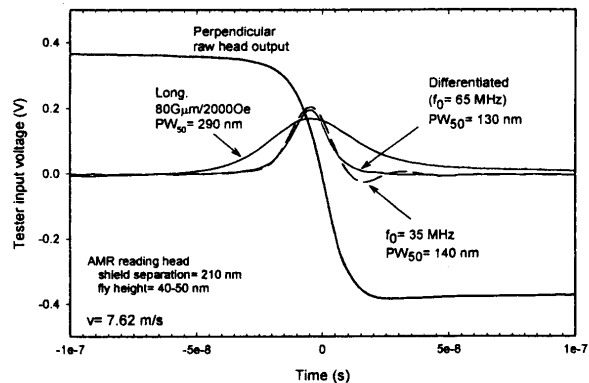


図3-4-1 微分等化後の垂直磁気記録の孤立再生波形

垂直磁気記録のMRヘッドによる孤立再生パルスは低域成分を多く含む矩形波状を呈する。本検討では、長手記録で一般的に用いられているリードチャネルを使ったエラーレート評価を行ったので、この矩形波パルスを微分器による波形変換により単峰性の長手記録の再生波形と類似のパルスに変換した。図3-4-1には微分器のカットオフ周波数をパラメータにして微分後の再生波形を示す。

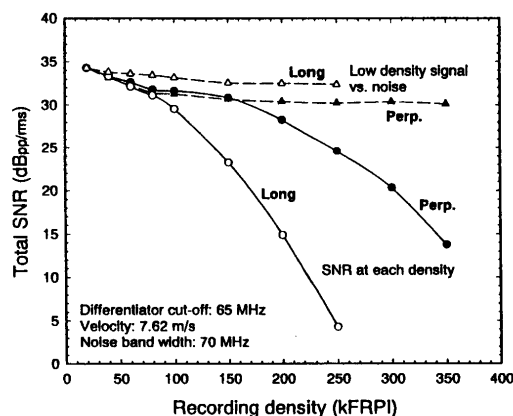


図3-4-2 垂直磁気記録のSN比の記録密度依存性

同図より、垂直二層膜媒体のMRヘッド再生出力を微分することで、同一のMRヘッド再生での長手記録の例に比べて顕著に狭い130nmの PW_{50} が得られることが分かる。この測定値を相反定理による理想磁化転移に対する計算と比較したところ、ほぼ計算と実測は一致し、実測で得られる PW_{50} はMRヘッドの再生分解能で決まっていることが示唆された。換言すれば、ここで示した130nmの PW_{50} に対して、記録磁化転移幅は無視できるほど

小さいと考えて良い。また、垂直記録磁化を微分して得られるパルス幅の絶対値は、再生ヘッドのシールド間隔が同一の場合には長手記録で理想転移を仮定した計算値より小さいことが分かる。垂直磁気記録を用いることでシールド間隔と浮上量が大きくとも等価的に高分解能再生ヘッドであるかのような特性が得られることを示している。

図3-4-2は、各記録密度で測定された総合ノイズスペクトラムを直流から70MHz(約460kFRPI)まで積分した結果を実効値ノイズとし、各記録密度の再生信号のpp値に対するSN比として示している。低密度では35dB近い値であるが300kFRPIでは約20dBとなる。これを、信号を低密度のpp値で固定して換算した場合には、約30dBとなる。ここでの実験で用いたMRヘッドのトラック幅は $1.4\mu\text{m}$ であり、垂直磁気記録が期待されている高面密度記録を達成するには、さらなる狭トラック化が必要である。これを考慮すると30dB程度のSN比では不足で、改善の必要がある。現状の二層膜媒体では未だノイズが大きく、これがエラーレート制限要因の一つとなると考えられるので、メディアノイズの低減は重要である。

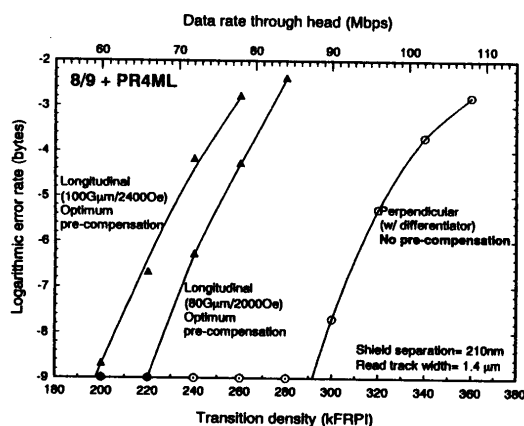


図3-4-3 PR4MLチャンネルに対して微分型等化回路を用いた際の垂直磁気記録のエラーレート特性

図4-1-3は、上述の微分器をヘッドアンプとエラーレートテスターの入力端の間に接続してエラーレートを測定した結果である。同図は、横軸をディスク上での磁化反転密度、縦軸をバイトエラーレートの対数値とし、長手ディスクを同一の再生ヘッドで試験した結果も併せて示している。記録補償については、長手ディスクでは各測定点で最適補償に調整したが、垂直ディスクでは無補償である。測定の結果、本ヘッドディスクは 10^{-6} のバイトエラーレートが約310kFRPIで得られており、ここでの長手ディスクに対しては優位性のある結果が得られた。

ここでの垂直型のヘッドディスク系を用いたエラーレート特性の実証は世界初のもので、垂直磁気記録の現状での完成度を具体的に示す成果であると考えている。

4. まとめ

以上述べたように、本年度の本プロジェクトの成果は、垂直磁気記録の記録機構上の本質的な利点を生かすうる実用性の高いデバイスの開発を行い、その完成度を高めるとともに、エラーレート特性などのシステム性能評価を開始した点にある。今後、既存記録方式による記録密度の向上に多大な困難が予測されるので、ますます垂直磁気記録に対する注目が集まるものと思われる。その際に、明確なデバイス設計指針を提示して、垂直磁気記録の優れたシステム性能を具体的に示すことがきわめて重要である。この要求に時期を遅えず応えるため、本プロジェクトでは、試作デバイスの完成度をさらに高めると同時に、今後のシステム性能の向上に向けての研究を継続する。

なお、本研究は平成11年度日本学術振興会「未来開拓学術研究推進事業」に採択される予定である。

5. 主な発表論文

1. 佐々木, 村岡, 中村, “二層膜媒体を用いた垂直磁気記録における媒体厚みの影響”, 日本応用磁気学会誌, 22, pp. 237-240(1998)
2. 佐藤, 村岡, 中村, 片倉, 佐藤, 矢沢, “薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドの試作とその記録特性”, 日本応用磁気学会誌, 22, pp. 273-276(1998).
3. H.Muraoka, K.Sato, Y. Nakamura, “Extremely Low Inductance Thin-Film Single-Pole Head on Flying Slider”, IEEE Trans. Magn., 34, pp. 1474-1476(1998)
4. 山田, 村岡, 杉田, 中村, “薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドのオフトラックオーバーライト特性”, 日本応用磁気学会誌, 22, pp. 293-296(1998)
5. 村岡, 三浦, 杉田, 中村, “単磁極記録ヘッド・微分型波形変換による二層膜垂直磁気記録のデジタル特性評価”, 日本応用磁気学会誌, 22, Supple. S3, pp.47-52(1998)
6. 村岡, 中村, “垂直磁気記録における非線形転移点シフトの記録密度依存性”, 映像情報メディア学会誌, 52, pp. 1480-1484(1998)
7. H.Yamada, H.Muraoka, Y.Sugita, Y.Nakamura, “Off-Track Performance of Thin Film Single Pole Head for Perpendicular Double-layered Media”, IEEE Trans. Magn., 34, pp. 1468-1470(1998)

8. S.J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura,
“Interlayer Coupling and Size Effects in Spin-Valve
Films” , J. Magn. Soc. Jpn, 22, pp. 517-520(1998)
9. 姜, 村岡, 杉田, 中村, “垂直二層膜媒体における
再生減磁に対する単磁極ヘッドの影響” , 日本
応用磁気学会誌, 22, pp. 277-280(1998)
10. W.H. Jiang, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura,
“Thermal Relaxation in Perpendicular Double-
Layered Media” , IEEE Trans. Magn., 34, pp. 1645-
1647(1998)

第 5 章 共同研究

5.1 共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は、情報通信分野における COE (Center of Excellence) として、その成果をより広く社会に公開し、また研究所自体がさらに発展するために全国共同利用研究所として所外の研究者と共同プロジェクト研究を遂行している。本所の学問の性格上、単なる設備の共同利用ではなく、本研究所教官との共同研究を前提とした共同利用研究所であるところに特徴がある。本研究所の「共同プロジェクト研究」とは、情報通信分野における技術・システムに関する各種の研究を国内外の優れた研究者の協力のもとに企画・コーディネートし、プロジェクト研究として実施していくもので、大規模な装置・施設の共同使用に重点がある従来の共同利用型研究とは異なり、研究内容主導型の共同研究である。

共同プロジェクト研究は、所内外の研究者の英知を集めて企画され、さらにその積極的な参加を得て実施されることが肝要である。これまで、本研究所の共同プロジェクト研究の提案および実施は、国・公・私立大学、国・公立研究機関、及び民間企業・団体等の教官及び研究者を対象として、公募により行われている。

○共同利用委員会

共同プロジェクト研究の運営のために、共同利用委員会が設置されている。本委員会は、共同プロジェクト研究に関する重要な事項を審議するために設置されており、その構成は、本研究所教授並びに本学工学研究科及び情報科学研究科の教授の計6名の委員よりなっている。本委員会の使命は、本研究所で遂行されている研究内容の特徴を重視しながら、所内外の意見を広く求め、研究所の目的である「高密度及び高次の情報通信に関する学理並びにその応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで、公募研究の内容、採択の基準、外部への広報、企業の参加に関する点等について議論を行ってきており、特に企業の参加に関しては、平成8年度に本所内規「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に係る研究者の受入れ等に関する申合わせ」を作成し、公平・公表を原則として、積極的な対応を行ってきている。

今年度は、平成11年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い、次の2点を重点的に考慮し、公募を行うことにした。

- 1) 公募する共同プロジェクト研究の内容を、外部により具体的に明示することを目的に、メインテーマを次のように決めた：「時・距離・言葉の壁を超えるバリアフリー通信に関する基礎研究」、
- 2) より広範囲からの応募を目的として、関連学会誌上にて公募要項の掲示を行うこととした。

なお、共同プロジェクト研究の円滑な実施を図るために、本所専任の教官より組織されている共同プロジェクト実施委員会が設置されている。

○平成10年度共同プロジェクト研究

平成10年度の共同プロジェクト研究は、所内外から公募され審議の結果次の22件（A：14件、B：8件）が採択された。なお、Aタイプは各々の研究課題について行う研究であり、14件のうち5件が外部よりの提案、Bタイプは短期開催の研究会形式の研究で、8件のうち3件が外部よりの提案のものである。また、Aタイプの研究のうち8件には、民間の研究者が参加している。

平成10年度共同プロジェクト研究採択一覧

- H08/A11 IV族半導体極微構造形成と表面・界面制御に関する研究
- H08/A12 ニューロンダイナミクスとその情報処理機能に関する研究
- H09/A01 人間とエージェントの協調を支援する拡張現実空間とそのソフトウェアに関する研究
- H09/A02 酸化物超伝導体のミリ波・サブミリ波デバイスに関する研究

- H09/A03 超大容量垂直スピニックスストレージシステムの研究
- H09/A04 微小電子源の物理と電子ビーム応用
- H09/A05 新圧電単結晶・薄膜の探索と弾性波デバイスの高度情報通信システムへの応用の研究
- H09/A06 脳型計算機のアーキテクチャに関する基礎的研究
- H09/A07 超高速LSI用SOIMOSデバイス・プロセスの研究
- H09/A08 フラージェンプラズマの構造制御と内包フラージェン生成への応用
- H09/A09 ミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発
- H09/A10 音の高次臨場感通信に関する研究
- H09/A11 超低消費電力無線通信ハイブリットULSIプロセス技術の研究
- H10/A01 主鎖型液晶高分子の二次非線形光学効果の高効率化とその積層構造を利用した光デバイスに関する研究
- H09/B02 電磁流体现象の解明とその応用
- H09/B04 計算資源制約下の計算パラダイム
- H10/B01 半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究
- H10/B02 環境共生型量子反応制御プロセスに関する研究
- H10/B03 テラフォトリクス研究
- H10/B04 3次元周期ナノ構造とデバイス応用の研究
- H10/B05 新機能性スピニクス材料の基礎と応用に関する研究
- H10/B06 マイクロ磁気デバイス・アクチュエータシステムの研究

○共同プロジェクト研究の公募、実施について

共同プロジェクト研究の公募、実施は年度単位で行われている。例年、研究の公募は、10月に来年度の研究の公募要項の公開、12月末が申請書の提出締切となっており、採否の結果は3月下旬頃に申請者の所属機関の長を通じて通知される。研究期間は、4月1日より3月中旬までであり、研究終了後の4月末までに研究報告書を提出して頂くことになっている。なお、上の「理念と概要」の項で述べたように、本共同プロジェクト研究は本研究所教官との共同研究を前提としたものであるため、申請にあたっては本所に対応教官がいることが必要である。

なお、本共同プロジェクト研究については、次の web page にて広報している：

www - URL: <http://www.riec.tohoku.ac.jp>

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所研究協力掛

電話：022-217-5422

課題番号 H-9/A-6

脳型計算機のアーキテクチャに関する基礎的研究

〔1〕組織

企画者：中島 康治（東北大学電気通信研究所）
 責任者：中島 康治（東北大学電気通信研究所）
 分担者：矢野 雅文（東北大学電気通信研究所）
 沢田 康次（東北大学電気通信研究所）
 佐野 雅巳（東北大学電気通信研究所）
 星宮 望（東北大学大学院工学研究科）
 山本 光璋（東北大学大学院情報科学研究科）
 中尾 光之（東北大学大学院情報科学研究科）
 二見 亮弘（東北大学大学院工学研究科）
 甘利 俊一（理化学研究所脳科学研究推進室）
 合原 一幸（東京大学大学院工学系研究科）
 岡部 洋一（東京大学先端科学技術研究センター）
 津田 一郎（北海道大学大学院理学研究科）
 本庄 春雄（九州大学総合理工学研究科）
 新貝 鉦蔵（岩手大学工学部）
 佐藤 信一（静岡大学理学部）
 和久屋 寛（佐賀大学理工学部）
 山崎 義武（九州工業大学情報工学部）
 八木 哲也（九州工業大学情報工学部）
 矢内 浩文（玉川大学工学部）
 島 健（神奈川大学工学部）
 近藤 由和（三菱電機先端技術総合研究所）
 岩田 穆（広島大学工学部）
 森江 隆（広島大学工学部）

〔2〕研究経過

本研究は電気生理学的実験により得られる知識を用いて、高度知的情報処理機構を解明し、また非線形物理学、神経回路網理論、情報理論、並列計算機アーキテクチャー等により得られた成果を基盤に、半導体、超伝導体集積回路技術を駆使、人間にとって扱いやすい脳型計算機として、実時間大規模情報処理システムを構築するための基礎研究を行うことを目的としている。研究は、A.脳機能の研究、B.モデリングと設計、C.大規模インテリジェントチップの試作の3つのテーマからなり、共同研究会を開催し、研究者間の有機的結合

をはかり、基礎概念の確立と新しいアーキテクチャの開発を目指している。

Aの脳機能の研究では、生体工学的に脳機能を解明するため、脳の知性と行動の基本とされている時系列情報の認識と発生、並びにこれらの相互作用について生体電子工学あるいは生体情報工学的観点から研究を進めている。Bのモデリングと設計では、情報工学的にしきい値論理、多値論理、集合論理を用いた脳型計算機のモデルを構成し、その理論的、数値的解析を通して、そのモデルを多値、アナログ、およびその融合型知能集積システムのマイクロチップとして実現するための設計、シミュレーションを行い、研究を進めている。Cの大規模インテリジェントチップの試作では、超多値知能集積システム開発、生体方式スーパーインテリジェントチップ開発を目指し、Bで設計された集積回路をチップ上に実現するシステムオンチップ技術について超高密度・高速知能システム実験施設において研究を行っている。

集積化人工神経回路網の学習回路に関して従来の対称な連続値結合強度を実現するモデルから、量子化された結合強度のモデル、非対称な結合強度のモデルへと発展させ、層状構造の回路の能力をボルツマンマシンをもとに理論と数値実験により評価し、新しく設計した集積回路の試作、測定評価を行い、知的情報処理システムの実現に向けての研究開発を継続した。

神経回路の能力を向上させると期待されているカオス発生回路の測定とその性能評価を行い、時系列情報の発生と記憶に関する解析のため、人工神経回路網における多数のリミットサイクルが同時共存する状態にカオス発生回路を結合し、動的連想記憶を実現できることを提案し、それを評価した。カオス発生回路を離散時間1次元写像により実現した。電流モード、電圧モード両方の回路の設計、製作を行いその動作を確認した。制御電源により写像の形を変化させることが可能で、これによりカオス信号の特性を外部から制御可能とした。またカオス発生回路を用いたカオス人工神経回路を構成し、その試作を行った。神経回路にカオスを導入することにより、時系列が制御できることを集積回路上で確認し、動的連想記憶シス

テムへのカオスの有効性を示した。

非単調ニューロンから構成される人工神経回路においてDBM学習における学習能力の評価を行い、従来の単調ニューロンと比較して飛躍的にその能力が向上することを数値実験により確認した。その中でニューロン数の自律的調整作用を見だし、単調ニューロンの結果と比較することにより汎化能力の向上を指摘した。アナログニューロンとアナログシナプスから構成される電子回路の設計を行い、これを集積回路として試作し、その動作を確認した。また、同様の非単調神経回路を、スタカスティックロジックを利用したデジタル回路で実現し、高集積化への指針を示した。知的情報処理システムの一翼を担うとされる連想記憶システムの開発も続行し、新しいアナログメモリの各種改良を行い集積回路を試作、測定を通して各種動作の評価を行った。デバイス構造と製作プロセスの改良を行い、信頼性の向上を図った。またシステムとしての集積回路を製作し、評価中である。その他に超伝導位相モード計算機システムの新しい加算回路の試作を行いその動作を検証、高速性、低消費電力性を実証、新たなFFTシステム構成を提案し、将来の情報処理システムとしての高い可能性を確認した。

脳の情報処理の根幹をなすと考えられる”先読み”をエピソード予測と表現し、逐次予測とは異なる予測システムを構築するため、内部表現のシンボルなどのダイナミクスで時系列記憶や情報の縮約を実現する時空間情報記憶モデルを検討し、エピソード予測のための時系列学習アルゴリズムとしてベクトル場を近似するリカレントニューラルネットワークの学習則を導出し、基本的な能力について調べた。脳の情報生成のメカニズムを探るため、脳は無限定システムであり拘束条件を自ら創り出すということを必要条件として、最大多数の最小負担則を実現し多重目的を有するルールダイナミクスを明らかにするための構成要素としてKYS振動子を設定し、構造の自己組織化を行う手法を生体に求めて構成原理の追求を行った。

環境に適応する能力を持った自己組織化アルゴリズムModeratismを用いてDC ModeratismとAC Moderatismを提案し、危険回避反射回路、多段パターン認識回路、自己発振をするループ型ランダム結合回路などが自動生成されることを結論付けた。さらに自己組織化する能動性を実現するコヒーレント能動性アーキテクチャを提案し、互いに直交する振る舞いを合成する手法をとっているためキャリア周波数情報空間で任意の相関を持つ振る舞いが自己組織化可能であることを示し、基礎

的なシミュレーション結果を報告した。

Biological Neuron Model によるパターン情報処理を検討し、抑制後リバウンド発火(PIR)の発火遅延時間は、抑制結合の強さに大きく依存しないこと、また、興奮性結合による発火遅延時間よりも長い遅延時間を作り易いこと、PIRの発火遅延時間は外乱刺激によって変化するが、この時の外乱はその時刻によって興奮的にも抑制的にも機能すること、Lismanのモデルで問題であったニューロンのパラメータのバラツキの問題はこのモデルでは軽減されており、入力パルスの時間的順序パターンを保持できることを示した。

海馬スライス標本における非線形振動と相互引き込みについて検討するため、脳におけるモジュール間の相互作用を模擬する最小単位として、海馬CA3領域とRICモデルを双方向的に結合した実験系を用い、それらのダイナミクスを調べた。その結果、結合の強度を変えることによりn:m応答といった相互引き込みや複雑な応答パターンが出現することが分かった。本実験系の海馬CA3領域とRICモデルの活動は2つの位相反応曲線に基づいて互いに相手の位相を変えあっていると考えられる。さらに神経コーディングの数理とその応用やヴィジョンチップについて共同研究を行った。

[3] 研究会活動

日時：平成10年12月21日(月), 22日(火)

場所：東北大学工学部青葉記念会館 大研修室

(1)「階層構造の脳型コンピュータについて」

阿江 忠 (広島大学工学部)

(2)「パルス密度型ニューラルネットワークシステム」

平井有三 (筑波大学電子・情報工学系)

(3)「非単調ニューラルネットワークのDBM学習について」

金城光永 (東北大学電気通信研究所)

(4)「線虫の移動運動の特徴と、移動運動の神経・筋モデル」

新貝鉦蔵 (岩手大学工学部)

(5)「情報生成のメカニズム」

矢野雅文 (東北大学電気通信研究所)

(6)「振動子型ニューラルネットワークの連想記憶モデル」

青柳富誌生 (京都大学大学院情報学研究科)

(7)「先読み・エピソード想起のための時系列記憶」

石田文彦 (東北大学電気通信研究所)

(8)「海馬スライス標本における非線形振動と相互引き込み」

斎藤洋明 (東北大学大学院情報科学研究科)

(9)「生物の視覚を創る」

- 八木哲也 (九州工業大学情報工学部)
- (10) 「相関モデルを用いた動き検出ネットワークの集積回路化」
米津宏雄 (豊橋技術科学大学電気・電子系)
- (11) 「誤り訂正符号の統計力学」
樺島祥介 (東京工業大学大学院総合理工学研究科)
- (12) 「神経コーディングの数理とその応用」
佐藤俊輔 (大阪大学大学院基礎工学研究科)
- (13) 「能動的な脳を創れるか-Moderatism による自己組織化-」
岡部洋一 (東京大学先端科学技術研究センタ)
- (14) 「記憶モデルPATONによる脳型シンボル処理モデルの構築」
大森隆司 (東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所)
- (15) 「Biological neuron model によるパターン情報処理」
二見亮弘 (東北大学大学院工学研究科)
- (16) 「コヒーレント能動性アーキテクチャ自己組織化する能動性機構の提案-」
廣瀬 明 (東京大学先端科学技術研究センタ)

[4] 主な研究発表

- (1) T. Onomi, Y. Mizugaki, H. Satoh, T. Yamashita and K. Nakajima: "Phase-Mode Circuits for High-Performance Logic", IEICE Trans.Electron., E81-C, 10, pp.1608-1617(1998)
- (2) Y. Mizugaki, K. Nakajima, and A. Shoji: "Switching Delay of a Nonlatching Josephson Gate Evaluated from Ring Oscillator Operation", IEEE Trans. Appl. Superconduct., 8, 4, pp.188-191(1998)
- (3) H. Tanaka, S. Sato, and K. Nakajima: "Integrated Circuits of Map Chaos Generators", IEICE Trans. Fundamentals, E82-A, 2, pp.364-369(1999)
- (4) T. Harada, S. Sato, and K. Nakajima: "A Content-Addressable Memory Using "Switched Diffusion Analog Memory with Feedback Circuit"", IEICE Trans. Fundamentals, E82-A, 2, pp.370-377(1999)
- (5) K. Nakajima: "Dynamic behaviors of an integrated circuit for recurrent neural networks", Proceedings of 1998 second Int. Conf. on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, vol.3, pp.260-267(1998)
- (6) K. Nakajima and T. Onomi: "Digital circuits based on single flux quanta", Extended Abstracts of the 1998Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, pp. 372 -373(1998)
- (7) Y. Mizugaki and K. Nakajima: "Neuron-based A/D converter integrated with Josephson devices", Proceedings 1998 Int. Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, vol.2, pp. 441-444(1998)
- (8) M. Kinjo, S. Sato, and K. Nakajima: "DBM learning in non-monotonic neural networks", Proceedings 1998 Int. Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, vol.2, pp. 455-458(1998)
- (9) C. Park, Y. Katayama, and K. Nakajima: "Implementation of quantized connection neural networks and its application for pattern classifier", Proceedings of ITC-CSCC '98, pp. 1077-1080(1998)
- (10) K. Akimoto, S. Watanabe, Y. Makino, and M. Yano: "An Insect Robot Controlled by Emergence of Gait Patterns", Artificial Life and Robot, in press
- (11) H. Miura and M. Yano: "A Model of Organization of Size Invariant Positional Information in Taxis of Physarum Plasmodium", Progress of Theoretical Physics, vol.100, pp.235-251(1998)
- (12) R. Futami and N. Hoshimiya: "A Model of Neural Short-Term Memory for Time-Coded Patterns", Proc. of the Fifth Int. Conf. on Neural Information Processing, pp.1281-1284(1998)
- (13) S. Kanoh, R. Futami and N. Hoshimiya: "Temporal Sequence Processing in Human Auditory System and its Hardware Implementation", Proc. of the Fifth Int. Conf. on Neural Information Processing, pp.1364-1367(1998)
- (14) M. Nakao and M. Yamamoto: "Bifurcation Properties of The Two Process Model", Psychiatry and Clinical Neurosciences, vol.52, pp.131-133(1998)
- (15) N. Katayama, N. Nakao, and M. Yamamoto: "Dynamics of Active Neuronal Dendrites and their Functional Significance", Proc. Intl. Conf. Knowledge-based Intelligent Electronics Systems pp.240-245(1998)
- (16) Y. Hayakawa and Y. Sawada: "Local Feature Learning Algorithm", Proc. 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, vol.2, pp.463-466(1998)
- (17) N. Sasaki and Y. Sawada, "Neural Networks for Tsume-go Problems", Proceedings of The Fifth International Conference on Neural Information Processing, pp.1141-1144(1998)

課題番号 H-9/A-10

音の高次臨場感通信に関する研究

〔1〕組織

代表者：曾根 敏夫（東北大電気通信研究所）
 分担者：江端 正直（熊本大学工学部）
 宇佐川 毅（熊本大学工学部）
 津村 尚志（九州芸術工科大学）
 福留 公利（九州芸術工科大学）
 三浦 甫（静岡理工科大学）
 浜田 晴夫（東京電機大学）
 竹田 仰（長崎総合科学大学）
 宮坂 栄一（NHK放送技術研究所）
 浅野 太（電子技術総合研究所）
 棟方 哲弥（特殊教育総合研究所）
 岩谷 幸雄（秋田大学鉱山学部）
 平原 達也（ATR基礎技研）
 宮園 博光（熊本県立大学）
 西村 竜一（ATR 知能映像通信研究所）
 植松 尚（NTT基礎研究所）
 杉田 陽一（生命工学研究所）
 武藤 憲司（都立航空高専）
 小澤 賢司（山梨大学工学部）
 金井 浩（東北大学大学院工学研究科）
 佐藤 洋（東北大学大学院工学研究科）
 鈴木 陽一（東北大電気通信研究所）
 高根 昭一（東北大電気通信研究所）

研究費：校費963千円，旅費1,280千円

〔2〕研究経過

高速高密度の通信インフラストラクチャが急速な勢いで整備されつつある中，人間が感覚系を通して知覚する臨場感を十分に通信することを可能にする次世代の高度情報通信技術を確立することは，高度情報通信手法の実現にとって必要不可欠である。本プロジェクト研究は，光と並んで大きな情報量をもつ音という通信メディアにおける臨場感通信，特に高次の3次元音場情報の伝送と再生を実現する技術を確立することを大きな目的として企画された。

本プロジェクトは，本年度が第2年度であった。前年度は，音というメディアに限らず，あらゆるメディアにおける臨場感通信に関する従来の研究を調査し，それを通じて，音における臨場感通信

に関する今後の研究方針を議論するために，本プロジェクト組織以外の研究者を講演者として招いたシンポジウム形式の公開研究会を開催した。

このシンポジウムを通して，高次臨場感通信を実現する上での音響学的な課題は，音場の物理的特性の解析，3次元音空間知覚過程の解明，及び，3次元音場情報の精密な再生技術の開発であることが明らかになった。そこで，本年度は，前年度に大きな進展を見た3次元音場情報の精密な再生技術に関する研究の成果を踏まえながら，前2者，即ち

1. 音場の物理的特性の解析
2. 音空間知覚過程の解明

の2点を主眼として研究活動を展開した。

以下，成果の概要を記す。

(1)音場の物理的特性の解析

ある空間における音の伝搬は，波動方程式に支配され，これにその空間がもつ境界条件を与えることによって，その空間内の音波の伝搬の様子を知ることができる。しかし，実際の室内音場では，境界条件の複雑さなどからこの波動方程式を解析的に解くことはほとんど不可能である。このことから，従来室内音場の解析に用いられてきた手法は，音の波動性を無視し，音が光と同じように，「線」で伝搬するという仮定を立てることによって，音の幾何的伝搬を仮定したものが主であった。しかし，室内音場を精密に解析するためには，音の重要な性質の一つである波動性を考慮した手法の確立が望まれる。

そこで本プロジェクトでは，精度や解析コストの点から有利であることから，境界要素法に着目し，これを用いて音場における音源からのインパルス応答の推定を行う手法の研究を進めてきた。これまで，本手法を閉空間のインパルス応答の推定に適用した結果，インパルス応答を精密に推定するためには，境界条件の規定方法が重要であることを明らかにしてきた。

今年度は，以上の研究成果に基づいて，境界要素法を実際の音場の解析に用いるための研究に取り組んだ。具体的には，音空間知覚において極めて重要な役割を果たしている，聴取者の頭部形

状に依存する伝送特性、即ち、頭部伝達関数を境界要素法によって計算するための手法の開発を行った。これが実現すれば、実際の人間を被験者として測定することが困難な、全立体角にわたる頭部伝達関数を完全に求めることが可能となる。

(2)音空間知覚過程の解明

静止音源の音空間知覚

本プロジェクト研究では、音空間知覚過程を、両耳への入力信号に含まれる重要な情報である頭部音響伝達関数(自由空間におかれた頭部中心から外耳までの伝達関数)に基づいて統一的に説明することを考えている。これまでに、水平面や正中面の音像定位については、ヒトは両耳に到来する信号の差分(レベル差、時間差など)を抽出して音像定位を実現していることが示されている。

そこで、本年度は、これまであまり検討が進められていない、距離知覚について研究を行った。特に、継時的に提示された二つの音像の距離の相対的判断について、絶対的な距離知覚と比較しながら考察を行った。これは、日常の音環境においては、単一音源の定位位置の絶対判断だけではなく、複数の音の定位位置の間の相対判断も重要であると考えられるからである。実験の結果、反射音がなく、また音の大きさも一定という厳しい環境の下で、相対判断の場合には、絶対判断では知覚距離弁別が困難な2~3 mの距離においても距離の弁別が可能となることを見いだした。

聴取者の動的挙動の効果・影響

更に、本年度は、前年度に引き続き、聴取者の動的な動きが音像定位に与える効果や影響について研究を進めた。ヒトが実際に身のまわりの音を聴取するときには、意識的・無意識の如何にかかわらず、頭部を微妙に回転/移動させることによって、音源から耳に到達する音の特性を時間的に変化させ、これによって、音像定位の精度を向上させたり、音空間の知覚に際してより多くの情報を得ようとしていると考えられる。そのため、本プロジェクトでは、前年度構築した聴覚ディスプレイシステムを用いて、聴取実験を行った。このシステムでは、磁気センサを用いて聴取者の頭部の動きを検出し、その動きに伴い、聴取者の装着するヘッドホンに与える信号を実時間で切り換えることにより、精度のよい音空間制御を行うことができる。実験の結果、以下のような知見が得られた。

- ・聴取者の頭部の動きに対する頭部伝達関数の更新遅れ時間の検知限が、約50 msであることを初めて明らかにした。

聴取者の動きが、音空間知覚に及ぼす効果と影

響について考察するため、聴取者の頭部の運動を許した場合と積極的に運動を許した場合の音像定位能力について聴取実験を行い、水平面内の音像の定位精度との関係を調べた。その結果、頭部回転の影響/効果は周波数依存性を持ち、特に低周波数域で大きく表われることが明らかになった。また、この実験に際して、頭部を積極的に移動させて音空間知覚を行わせたときの、頭部運動のパターンを詳細に調べた。その結果、水平面の定位の場合でも、縦方向の頭部運動がはっきりと観察されることなど、これまで知られていない新しい知見を得た。

音環境理解過程の解明

音空間知覚過程を、より実際に即したかたちで分析するためには、ヒトが音環境を理解する際に、どのような情報を用いているかを解明する必要がある。例えば、我々が音環境を理解する場合、我々は聴覚からの情報だけではなく、視覚など他の知覚モードからの情報も合わせ用いていると考えられる。

そこで、マルチモーダル環境における環境音知覚の要因を探るため、音に映像を付加した実験(実験AV)を行い、視覚情報が環境音知覚に及ぼす影響を検討した。刺激音は、環境音の中から、日常的で、ある程度定常的、かつその環境の特徴をよく表している音が支配的であるようなものを66種類選んで用いた。また、評価語対としては、過去に音知覚の要因を探る研究に用いられてきた音色表現語(15対)、そして、本研究で新たに加えた感情表現語(12対)、音情報関連語(11対)の3つのグループからなる38対の評価語対を用いた。被験者には映像を見ながら音を聴き、音について評価を行うよう指示を行った。

この実験結果を、前年度行った、音だけを用いて環境音知覚の要因を検討した実験(実験A)の結果と比較した。実験Aの結果からは、音色の三因子(美的、量的、明るさ因子)と、音の情報に関する因子群(音源情報因子、定位情報因子、音の存在意義に関する因子、情緒・郷愁因子)が抽出されている。また、環境音により与えられる感情に関連した情報は音色の美的因子と相関があることが分かっている。

実験AVの結果について因子分析を行ったところ、実験Aと同様の7因子が抽出された。そこで次に、映像の付加によって、それぞれの環境音に対する評価がどのように変化するかを調べるため、実験AVと実験Aとの結果と合せて、因子分析を行った。この場合にも、上述の7因子と同じ因子が抽出された。したがって、これら7因子は人

の環境音知覚の基本的な因子であることが確認された。一方、各刺激音に対する実験条件AVの因子得点と実験条件Aの因子得点の間には大きな変化が見られた。これら実験条件間の因子得点変化について、それぞれの環境音ごとに検討を行ったところ、付加された映像から得ることのできる様々な情報を解釈することにより、音に対して抱くイメージが環境音の評価に影響を及ぼしていることが分かった。特に、付加された映像の美しさや、そこに映し出されている音源の動きが音に対する評価を強調することが示唆された。

以上の実験の結果、映像で提示される情報を解釈することにより音に対して励起されるイメージが、環境音の評価に影響を及ぼしていることが明らかとなった。

音空間内における特徴抽出機構の解明

視覚においては、空間的に分散した多くの図形の中から、ある特徴を持った図形要素を選択的に知覚するとき、容易に検出可能な図形要素が存在することが知られている。いわゆるポップアウト現象である。また、このポップアウト現象を引き起こす図形要素には、脳の一次視覚野にそれに対応した特徴抽出機構があると考えられており、その対応も明らかになりつつある。一方、聴覚における空間知覚においては、このようなポップアウト現象の報告は全く行われていない。ポップアウトが一次聴覚野における特徴抽出と密接に関連していると予測される以上、この問題の研究は音空間の系統的な理解を得る上で重要な課題である。

そこで本年度は、その基礎段階として、純音と狭帯域雑音を刺激音として用いた実験を行った。この実験では、無響室内に複数のスピーカを配置し、空間的に広がったある刺激音群の中から、もう一方の特徴を持った音を選択的に聴取させた。その結果、狭帯域雑音にポップアウト現象が見られることを明らかにした。これは、聴覚系におけるポップアウト現象を初めて実証したものである。

[3] 研究会活動

研究討論会を一度開催した。

日時：平成8月27日(木)～28日(金)

場所：東北大学電気通信研究所大会議室

[4] 主な研究発表

1. R. Nishimura, F. Asano, Y. Suzuki, and T. Sone, "Speech enhancement using spectral subtraction with wavelet transform," *Electronics and Commun. in Japan*, 81 (1998), 24-31.

2. 安倍幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "音色表現語, 感情表現語及び音情報関連語による環境音評価," *日本音響学会誌*, 54 (1998), 343-350.
3. 高根昭一, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "壁面音響特性評価のための等価音響アドミタンスの提案," *日本音響学会誌*, 54 (1998), 641-648.
4. 高根昭一, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "等価音響アドミタンスを用いて帯板の音響特性を表したときの音場解析の精度," *日本音響学会誌*, 54 (1998), 720-728.
5. F. Asano, Y. Suzuki, and D. C. Swanson, "A method of optimizing source configuration in active control systems using Gram-Schmidt orthogonalization," *Proc. ICASSP 98*, 6 (1998), 3549-3552.
6. R. Nishimura, F. Asano, Y. Suzuki, and T. Sone, "Speech-enhancement by a Kalman filter based on wavelet transformation coefficients," *Proc. 16th Intl. Congress on Acoustics*, 1 (1998), 625-626.
7. H.-Y. Kim, Y. Suzuki, S. Takane, K. Ozawa, and T. Sone, "On the difference between absolute and relative auditory distance perception," *Proc. 16th Intl. Congress on Acoustics*, 2 (1998), 857-858.
8. T. Sone, K. Abe, K. Ozawa, and Y. Suzuki, "Factor analysis of the perception of the evaluation of environmental sounds using adjectives describing sound quality, emotional state, and information carried by sounds," *Proc. 16th Intl. Congress on Acoustics*, 2 (1998), 901-902.

課題番号 H-8/A-11

Ⅳ族半導体極微構造形成と 表面・界面制御に関する研究

〔1〕組織

代表者：室田 淳一（東北大学電気通信研究所）

分担者：潮田 資勝（東北大学電気通信研究所）

横尾 邦義（東北大学電気通信研究所）

末光 眞希（東北大学電気通信研究所）

上原 洋一（東北大学電気通信研究所）

松浦 孝（東北大学電気通信研究所）

坂本 謙二（東北大学電気通信研究所）

櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）

小柳 光正（東北大学大学院工学研究科）

栗野 浩之（東北大学大学院工学研究科）

白木 靖寛（東京大学先端科学技術研究センター）

宇佐美徳隆（東京大学先端科学技術研究センター）

安田 幸夫（名古屋大学大学院工学研究科）

財満 鎮明（名古屋大学先端技術共同研究センター）

池田 浩也（名古屋大学大学院工学研究科）

田部 道晴（静岡大学電子工学研究所）

御子柴宣夫（東京工芸大学工学部）

小林 信一（東京工芸大学工学部）

松本 智（慶應義塾大学理工学部）

坂本 統徳（電子技術総合研究所）

三木 一司（電子技術総合研究所）

荒井 英輔（名古屋工業大学工学部）

佐々木公洋（金沢大学工学部）

土屋 敏章（島根大学総合理工学部）

石谷 明彦（超先端電子技術開発機構）

梶山 健二（イオン工学研究所）

岩井 洋（東芝マイクロエレクトロニクス
研究所）

宮尾 正信（日立製作所中央研究所）

中川 清和（日立製作所中央研究所）

伊藤 秀二（沖電気工業半導体技術研究所）

小野 昭一（アルプス電気中央研究所）

配分研究費 校費 876千円 旅費 1,421千円

〔2〕研究経過

Ⅳ族半導体極微構造形成プロセスの開発はLSI上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である。本プロジェクトでは、原子層制御CVD・エッチング・不純物ドーピング・MBE法等の極表面・界面での吸着・反応の制御プロセス技術を駆

使して、Ⅳ族半導体極微構造を形成するプロセス技術を開拓することを目的として研究を行った。さらに、形成した極微構造体から発現する新しい光・電子物性の探索を行った。

本年度は、昨年度までに引き続き、Si-Ge-C系エピタキシャル膜、Si窒化膜、Si酸化膜、WとSiの多層膜をはじめ、SOIを用いたナノ構造、原子層ドーピング、表面水素終端制御等、極微構造形成技術・表面界面制御技術の研究を行った。また、表面・界面が大きな影響を及ぼす極微細デバイスの研究を行った。プロセスにはCVD法・MBE法・ECRプラズマ法・イオンビームスパッタ法等を用いて行い、相互の方法の比較を行いながら各々の特徴を生かした最適化を行っている。原子レベルでの平坦性及び表面構造の評価にはSTM/AFM・X線回折・電子線回折等、表面の吸着物質・原子結合の同定にはXPS・FTIR・ラマン分光・SIMS等を用いた。また、Ⅳ族半導体極微構造による新機能デバイスの創生のための指針を得ることを目指して、共鳴トンネルダイオード・量子箱・量子細線等の形成した極微構造の電気特性、発光、及び電子放出特性の計測・評価を行った。

研究は、本研究所超高密度・高速知能システム実験施設でのプロセス実験・評価実験を中心に、各共同研究者の有する特色有る試料作成・評価実験等はそれぞれの研究機関で行った。

[SiGeC系の反応・成長・エッチング]（室田、白木、安田、御子柴、松本、財満、末光、坂本（統）、三木、佐々木、松浦、宇佐美、池田、小林、櫻庭、梶山）

Si-Ge-C系のエピタキシャル成長やPおよびBのドーピング過程が水素終端等の表面構造により大きく左右されることを明らかにし、Si表面の1原子層炭化、Pの原子層吸着を実現した。また、それらをラングミュア型の吸着・反応モデルで定式化し議論した。そして、CVD・MBE・固相成長法によるエピタキシャル成長を比較した。さらに、SiやGeの原子層エッチングにおける自己制限型反応機構について考察した。

[窒化膜・酸化膜・拡散]（室田、田部、松本、荒井、御子柴、小林、松浦、櫻庭）

Si表面のNH₃中低温極薄熱窒化過程を、瞬時加

熱を用いた吸着と反応の分離により考察し、脱離を考慮したラングミュア型吸着・反応モデルでよく説明できることを明らかにした。また、SOIを用いたSiナノ構造の形成を可能にし、その電気・光学特性を調べた。さらに、Si表面の高清浄ECRプラズマによる原子層窒化を実現した。また、ドーパント $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ からSiへの低温不純物拡散と偏析現象を研究した。

[半導体表面上での金属の表面反応、コンタクト] (室田、安田、財満、松浦、池田、櫻庭、坂本(統))

Si表面での SiH_4 と WF_6 のCVD低温反応初期過程を議論し、また、SiGe系と金属とのコンタクト特性やシリサイド化過程を研究した。

[SiGe系の物性、量子構造] (室田、潮田、白木、田部、上原、坂本(謙)、宇佐美、宮尾、中川、坂本(統)、三木、松浦、櫻庭)

SiGe系変調ドーパ構造・ヘテロ井戸層・量子ドット・量子ワイヤ等の量子構造を形成し、それら量子構造に特有の電気伝導特性、光学特性を研究した。

[SiGe系デバイスの高性能化] (室田、横尾、小柳、白木、土屋、荒井、佐々木、松浦、栗野、櫻庭、石谷、岩井、伊藤、小野)

不純物ドーパSiGe混晶の選択エピタキシャル成長層をソース・ドレイン層とするMOSFET(S^2MOSFET)の極微細デバイス製作プロセスの研究を進めた。また、HBTの高周波特性、完全空乏型SOIデバイス、シリサイド技術、リソグラフィ技術、半導体冷陰極からの電子放出特性等について研究し、デバイスの高性能化の指針を得た。

本研究により、表面マイグレーションや原子ミキシングを最低限まで抑制した表面・界面制御技術が実現され、SiやGe、C等IV族半導体及びそれらを基とした絶縁膜、並びに金属膜等を組み合わせた任意の極微細構造形成プロセスの開発にさらに大きな期待が持たれる。さらにこれにより、極微細領域での光物性・電子物性の学問分野が大きく切り開かれると同時に、Si系デバイスの物理的微細化限界についての有用な知見も得られ、次世代Si系極微細デバイス開発の道をも開拓できよう。

本共同プロジェクト研究に関する討論のため、下記の研究会を行った。また、本プロジェクトの寄与のある研究成果の一部は、後述の主な研究発表等をはじめとする、学術雑誌、国際会議に発表している。さらに、本プロジェクトのメンバーが中核となって、国際会議(Int. Joint Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures (The 4th R.I.E.C. Int. Symp))を1999年度9月開催する事になりその

準備を進めているが、こうした形で本プロジェクトを締めくくることができたことはまことに幸いである。

[3] 研究会活動(1998年10月8日(木))

(宮城蔵王ロイヤルホテルにて開催)

1. 自己触媒反応としてのSi(100)初期酸化過程, 末光眞希、遠田義晴、宮西健至(東北大通研)、宮本信雄(東北学院大工)
2. A New Approach of Photonic Bandgap Formation - Wafer Bonding and Delamination Technique-, K. Wada (Dpt. of Mat. Sci., M.I.T.), H. Aga, K. Mitani, T. Abe (Shin-Etsu Handotai), M. Suezawa (Tohoku University), and L. C. Kimerling (Dpt. of Mat. Sci., M.I.T.)
3. SOIを用いたSiナノ構造の形成と電気特性, 石川靖彦、牧田繁典、久米澤稔、田部道晴(静岡大電子研)
4. Atomic-Layer Doping in $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ Heterostructures by Two-Step Solid-Phase Epitaxy, N. Sugii, K. Nakagawa, S. Yamaguchi, and M. Miyao (日立中研)
5. 水素終端Si(111)表面上のGe膜の固相エピタキシャル成長初期過程, 岡田昌久(名大工)、財満鎮明(名大先端共研)、安田幸夫(名大工)
6. Si(111)上Ge成長における水素終端効果, 石井邦宏、栗山英樹、松本智(慶大理工)
7. Ge/Si(111)ヘテロエピタキシャル成長へのBによる影響, 山本知成、江副健司、石井邦宏、池田優、松本智(慶大理工)
8. $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ への高濃度Bドーピングとその電気的特性, 森谷敦、櫻庭政夫、松浦孝、室田淳一(東北大通研)
9. NH_3 によるSi(100)の原子層熱窒化過程, 渡辺健、櫻庭政夫、松浦孝、室田淳一(東北大通研)
10. 高清浄LPCVD装置を用いたSi(100)表面におけるPの原子層吸着, 島宗洋介、櫻庭政夫、松浦孝、室田淳一(東北大通研)
11. 高清浄ECR窒素プラズマを用いたラジカル・イオン誘起反応によるSiの原子層窒化, 清野拓哉、松浦孝、室田淳一(東北大通研)
12. WF_6 - SiH_4 系によるW低温選択成長の反応初期過程, 山本裕司、松浦孝、室田淳一(東北大通研)
13. SiエピタキシーのAdvanced CMOS LSIへの応用, 岩井洋、大黒達也、勝又康弘(東芝マイクロ技研)
14. Si(001)上Coシリサイド化過程のその場観察, 坂本邦博、前田辰郎、坂本統徳(電総研)

15. P-Doped $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ から Si への不純物拡散と偏析, 小林信一 (東京工芸大工)、櫻庭政夫、松浦孝、室田淳一 (東北大通研)、飯塚昌之、青木彪、御子柴宣夫 (東京工芸大工)
16. イオン注入による Ge ナノ結晶の制作と評価, 梶山健二 (イオン工学研究所)、山本真弘 (大阪電通大)

[4] 主な研究発表

1. Low-Temperature Surface Reaction of CH_4 on Si(100), A.Izena, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, J.Crystal Growth, Vol.188, No.1-4, pp.131-136, (1998).
2. Atomic-Layer Surface Reaction of Chlorine on Si and Ge Assisted by an Ultraclean ECR Plasma, T.Matsuura, T.Sugiyama and J.Murota, Surf.Sci., Vol.402-404, pp.202-205, (1998).
3. Surface Reaction of Alternately Supplied WF_6 and SiH_4 Gases, Y.Yamamoto, T.Matsuura and J.Murota, Surf.Sci., Vol.408, No.1-3, pp.190-194, (1998).
4. Hydrogen Effects on Heteroepitaxial Growth of Ge Films on Si(111) Surfaces by Solid Phase Epitaxy, M.Okada, A.Muto, I.Suzumura, H.Ikeda, S.Zaima and Y.Yasuda, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, No. 12B, pp. 6970-6973, (1998).
5. Atomic-Order Thermal Nitridation of Silicon at Low Temperatures, T.Watanabe, A.Ichikawa, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, J.Electrochem.Soc., Vol.145, No.12, pp.4252-4256, (1998).
6. Separation between Surface Adsorption and Reaction of NH_3 on Si(100) by Flash Heating, T.Watanabe, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, Jpn.J.Appl.Phys., Vol.38, Part1, No.1B, pp.515-517 (1999).
7. Photoirradiation Effects in a Single-Electron Tunnel Junction Array, M.Tabe, Y.Terao, N.Asahi and Y.Amemiya, IEICE Trans. Electron. Vol.E81-C, pp.36-41, (1998).
8. Simulation of Visible Light Induced Effects in a Tunnel Junction Array for Photonic Device Applications, M.Tabe, Y.Terao, R.Nuryadi, Y.Ishikawa, N.Asahi and Y.Amemiya, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, No. 1B, pp. 593-596, (1999)
9. Low-Temperature Epitaxial Growth of In-Situ Heavily B-Doped $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ Films Using Ultraclean LPCVD, A. Moriya, M.Sakuraba, T.Matsuura, J.Murota, I.Kawashima and N.Yabumoto. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.533, pp.349-354 (1998).
10. Atomic-Order Layer Role-Share Etching of Silicon Nitride Using an ECR Plasma, Y.Honda, T.Matsuura and J.Murota, Proc. 12th Int. Symp. on Plasma Processing, (The Electrochemical Society, Pennington, 1998), Vol.PV98-4, pp.94-100.
12. Process Technology for Sub $0.1\mu\text{m}$ Si Devices, J.Murota, T.Matsuura and M.Sakuraba, 1998 Advanced Research Workshop Future Trends in Microelectronics: Off the Beaten Path, Ile des Embiez, France, May 31- June 5, 1998, (in press).
13. Initial Reaction in Low-Temperature Selective Growth of W Using a WF_6 and SiH_4 Gas System, Y.Yamamoto, T.Matsuura and J.Murota, 194th Meeting of the Electrochemical Society, Boston, Massachusetts, USA, November 1-6, 1998, Abs.No.352.
14. Atomic-Layer Nitridation of Si(100) by NH_3 Using Flash Heating, T.Watanabe, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, 194th Meeting of the Electrochemical Society, Boston, Massachusetts, USA, November 1-6, 1998, Abs.No.806. (Also to be published in the proceeding volume.)
15. Atomic-Layer Adsorption of P on Si(100) by Using Ultraclean LPCVD, Y.Shimamune, M.Sakuraba, T.Matsuura and J.Murota, 194th Meeting of the Electrochemical Society, Boston, Massachusetts, USA, November 1-6, 1998, Abs.No.784. (Also to be published in the proceeding volume.)
16. Atomic-Order Nitridation of Si by Radical- and Ion-Induced Reactions Using an Ultraclean ECR Nitrogen Plasma, T.Seino, T.Matsuura and J.Murota, 194th Meeting of the Electrochemical Society, Boston, Massachusetts, USA, November 1-6, 1998, Abs.No.799. (Also to be published in the proceeding volume.)

課題番号 H-9/A-8

フラーレンプラズマの構造制御と 内包フラーレン生成への応用

[1] 組織

企画者：佐藤 徳芳（東北大学工学研究科）
 責任者：水野 皓司（東北大学電気通信研究所）
 分担者：宮本 信雄（東北学院大学工学部）
 庭野 道夫（東北大学電気通信研究所）
 畠山 力三（東北大学工学研究科）
 飯塚 哲（東北大学工学研究科）
 平田 孝道（東北大学工学研究科）
 真瀬 寛（茨城大学工学部）
 佐藤 直幸（茨城大学工学部）
 八井 浄（長岡科学技術大学工学部）
 石川稜威男（山梨大学工学部）
 三重野 哲（静岡大学理学部）
 上村 鉄雄（核融合科学研究所）
 石黒 静児（核融合科学研究所）
 菅井 秀郎（名古屋大学工学研究科）
 庄司多津男（名古屋大学工学研究科）
 橘 邦英（京都大学工学研究科）
 三宅 正司（大阪大学接合科学研究所）
 奥 健夫（大阪大学産業科学研究所）
 福政 修（山口大学工学部）
 板谷 良平（新居浜工業高等専門学校）
 河合 良信（九州大学総合理工学研究科）
 渡辺 征夫（九州大学工学研究科）
 藤山 寛（長崎大学工学部）
 藤田 寛治（佐賀大学理工学部）

研究費：校費 103万円、旅費 160万円

[2] 研究経過

これまで、宇宙空間物理学、プラズマ材料プロセス、及び核融合プラズマ閉じ込めなどの研究に関連して広く注目を集めている微粒子（ダスト）プラズマの解明に資することを目的に、フラーレンプラズマに関与する多岐に亘るプラズマ現象を解明し、またその物質創製への応用の基礎を精力的に築いてきた。

本プロジェクトにおいては、上述の第一期の成果に基づき発展的にターゲットを絞り、フラーレンプラズマを新機能光・電子デバイスなどへの応用に繋がる複合材料創製に資するものとすべく研究を展開する。すなわち、原子・分子レベルで制

御された物質創製を行うために、これまで得られたプラズマ物理学的知見のもとにフラーレンプラズマの3次元的局所構造制御を高精度に制御する方法を確立し、それにより特異な電気、磁気、光特性を発現する可能性を秘めている新種の原子内包フラーレンを高効率に生成することを目指した研究を、全国のプラズマ工学者の英知を集めて行う。

本年度の研究内容は以下の通りである。

I. アルカリ-フラーレンプラズマを用いる研究

これまで、 $K^+ - e^-$ プラズマ柱の中央付近で噴射されたフラーレン C_{60} の電子付着反応による負イオン化の結果として生成されたフラーレンプラズマ中で、基板バイアス制御の下で薄膜を形成すると、プラズマ構造制御とK内包フラーレン（ $K@C_{60}$, $K@C_{58}$ ）の生成に成功している。しかし、 C_{60} に対する $K@C_{60}$ 生成率が最大30%（平均10%以下）であるため、更なる内包フラーレンの高効率生成に関する急務の課題はプラズマ効果と内包化機構の関係解明であるといえる。以上の観点から、 C_{60} ケージの六員環平均直径（約2.48 Å）もしくはカリウムイオン（2.66~3.04 Å）よりもイオン直径が小さいナトリウム（1.9~2.32 Å）を用いてNa-フラーレンプラズマを生成し、プラズマ中挿入基板へのバイアス印加によるNa-フラーレン複合物質（ $Na(@)C_n$ ）の生成実験を行った。

図1は成膜基板から回収した堆積膜のレーザー脱離飛行時間型質量分析装置（LD-TOFMS）による質量分析結果である。 C_{60} 及び $Na(@)C_{60}$ （ $m/z=720+23$ ）に相当するスペクトルピークが観測されており、特に C_{60} に対する $Na(@)C_{60}$ 生成率は最大200%（平均100%）に達している。また、プラズマ半径方向(r)密度分布（図2）において、急峻な変化を示す領域（ $|r|=15\sim 20\text{ mm}$ ）では $Na(@)C_{60}$ 生成率が最大となる結果が得られた。それに相対して、 $|r|\cong 40\text{ mm}$ では実験に使用しているフラーレン粉末の組成比と一致した C_{60} 及び C_{70} のピークだけが観測されている。以上の結果より、高効率で生成された $Na(@)C_{60}$ を特定の領域に局在させて回収することに成功した。今

回のNa(@)C₆₀生成実験の結果が、金属原子内包化機構の解明につながると共に、更なる金属内包フラーレンの高効率生成に大きく寄与できるものと考えられる。

II. アーク放電プラズマを用いる研究

共同プロジェクトとして製作したカーボンベース超微粒子生成装置を用いて、アーク放電の周辺プラズマを積極的に制御することによりフラーレンケージを形成しながら異種原子を効率的に包み込む方法の開発を目指している。この場合本共同プロジェクトチームがターゲットにしているSi-フラーレン複合物質としては、典型的な非金属でありながら半導体材料として重要な役割を果たすシリコン(Si)を内包した新物質(Si@C_n: n ≥ 60)である。実験装置は、前年度と同様に、カソード電極とメインアノード電極(Si粉末含浸炭素棒)間の放電に、Si蒸発促進用サブアノード電極(Si粉末充填炭素円筒)を追加した双アノード放電方式を用いている。更にアーク周辺補助放電プラズマ生成用の直流制御電極又はRFアンテナをアーク点上方に設置し、He圧力P_{He}、メイン/サブアーク電流比I_{arc}/I_{sub}、制御電極投入電力P_{DC}またはRFアンテナ投入電力P_{RF}の各条件を一定に保ちながら煤の作製を行なった。更に煤回収用の終端電極が設置されている。

今回は、これまでに達せられたSi@C_n(n = 74, ...)生成に対する補助プラズマ発生の効果を調べる目的で、終端電極および制御電極又はRFアンテナ上に堆積した煤の質量スペクトル分析に加え、X線回折(XRD)装置による構造・組成分析と分光器を用いたアーク及び周辺プラズマの発光分光分析を行なった。

(1) XRD分析による煤の構造・組成分析

図3(a)にC-C間放電(シリコン導入及び周辺プラズマ制御無し)で作製された煤のXRDパターンを示す。XRDパターン上において、2θ = 26.44°, 44.40°, 54.54°の位置にピークが顕著に現れており、これらは炭素(グラファイト)の(002), (101), (004)面にそれぞれ対応している。また分子状物質が結晶構造を有する場合、一般的に回折角は低角度側になることが知られているが、本結果でもC₆₀に対応するピークが2θ = 10.68°, 17.48°, 20.42°の位置に現れている。室温においてC₆₀は立方晶系(面心立方)の結晶構造配位をとることから、ピークはそれぞれ(111), (220), (311)面を有するC₆₀結晶である。

次に、Siを導入した場合(アーク周辺補助放電プラズマ制御無し)、グラファイトに起因するピ

ーク強度は減少し、2θ = 35.76°, 60.14°, 71.88°の位置にシリコンカーバイド(SiC)の(111), (220), (311)面に対応するピークが新たに出現している【図3(b)】。この結果は、非常に高い温度(5000℃以上)に加熱されるアーク領域にシリコンを導入することにより、SiCが形成されることを示唆している。一方、C-C間放電時に確認されたC₆₀のピークは見られず、アーク周辺補助放電プラズマ無しでは、いかなる放電条件でもC₆₀のピークを観測することはできなかった。これはアーク領域ではSiCの生成が支配的であることから、フラーレン形成に関与する炭素原子の絶対数が減少し、フラーレンの生成量が低下したためであると思われる。

Si導入とアーク周辺補助放電プラズマ制御を同時に行った場合【図3(c)】、XRDパターンからは炭素、SiCに加え、Siの(111), (220), (311)面の回折角に相当するピークが現れている。Siのピークは直流又はRF放電による補助プラズマ発生時にのみ存在するという事実から、補助プラズマの発生を行うことは一度形成されたSiCを分解し、シリコンの単原子化促進の効果があると考えられる。

(2) アーク領域及び周辺の発光分光分析

各種放電形態により煤の作製を行うことと同時に、アーク中の発光種からの放出光を分光器に取り込み発光スペクトルを測定し、気相中の組成分析を試みた。

① C-C間放電形態における発光スペクトル分析

まず、C-C間放電において、発光波長が約400~600 nmの間には炭素分子C₂のエネルギー準位の遷移に起因する発光スペクトルが観測される。これらのピークから、蒸発した炭素はアーク中でC₂程度にまで分解されることを示唆している。435, 473, 516, 558, 612 nmがそれぞれのピークの最強線として知られているが、本実験でもそれらとほぼ一致した位置にピークが観測されている。

② Si-C間放電形態における発光スペクトル分析

補助プラズマ発生の有無によるアーク点およびその周辺(補助プラズマ領域)の発光スペクトル強度の変化を図4に示す。Siのスペクトル線(288および296 nm)強度は、補助プラズマ発生時(P_{RF} = 600 W)の方が無発生時よりも増加する傾向にある(図4左)。これは補助プラズマの発生により、単原子状シリコンの存在量が増加したことが原因であると思われる。シリコンの単原子化は補助プラズマ領域で行われていると推測されることから、主にアーク領域の上方(RFアンテナ付近)でシリコンの発光が強まったと考えられる。

次に、SiCの発光スペクトル測定に関しては、補助プラズマによりSiCの分解等が促進されその密度が減少するなら、そのスペクトル強度も減少するはずである。しかし、SiCは非常に化学的な安定性を有する物質であるため、熱的な励起による発光現象が起こらない可能性が高い。そこで、我々はX線や紫外線等によってSiCが青色波長の励起光を発生するという物理現象に着目し、アーク放電領域から放出された紫外線により発生したSiCクラスター励起光の測定を試みた。図4右はC₂ Swan系列のスペクトル帯を示しているが、補助プラズマ無発生 ($P_{RF} = 0$ W) の場合には約520 nmの位置にSiCと思われるピークが存在している。それに対して補助プラズマ発生 ($P_{RF} = 600$ W) の場合、SiCと思われるピークは僅かに確認できる程度まで減少しており、SiCの分解による発光強度の減少を示唆した結果が得られた。

[3] 研究会活動

本研究課題に直結した下記の研究会を開催した。

日時：平成10年9月10日(木) 13:30~16:00

場所：東北大学工学部174ゼミ室

- (1) 畠山力三, 平田孝道 (東北大学大学院工学研究科)

「東北大での最近の活動状況〔XRD、HREM (阪大) 解析〕」

- (2) 真瀬寛, 佐藤直幸 (茨城大学工学部)

「茨城大でのSiC使用実験状況」

日時：平成10年10月14日(水) 13:00~17:00

場所：東北大学工学部電気・情報館452号室

- (1) 奥 健夫 (大阪大学産業科学研究所)

「シリコン-フラーレン複合物質のHREM解析」

- (2) 三重野 哲 (静岡大学理学部)

「静岡大での“Si”投入実験状況」

- (3) 茂木規行 (東北大学大学院工学研究科)

「前回プロジェクト討論で出された課題の一つである

「共プロ装置アーク周辺プラズマ制御における“SiC”使用実験」の結果報告」

日時：平成10年12月12日(土) 9:30~11:30

場所：東北大学工学部174ゼミ室

- (1) 畠山力三 (東北大学大学院工学研究科)

「バッキーオニオンはアーク放電プラズマ発生法で生成されるか」

- (2) 平田孝道 (東北大学大学院工学研究科)

「シリコン-フラーレン複合物質の阪大HREM解析に参加して」

- (3) 茂木規行 (東北大学大学院工学研究科)

「共プロ装置アーク周辺プラズマ制御実験の最近の結果」

- (4) 真瀬寛, 佐藤直幸 (茨城大学工学部)

「茨城大“SiC”投入実験のその後」

日時：平成11年3月10日(水) 10:00~12:30

場所：東北大学工学部174ゼミ室

- (1) 今年度共同プロジェクト実験成果報告

- (2) 高分解能電子顕微鏡 (HREM) を用いるフラーレン関連研究の課題

- (3) 新年度の共同プロジェクト研究方針について

参加者：真瀬寛, 佐藤直幸 (茨城大学工学部)、

庭野道夫 (東北大学電気通信研究所)、

佐藤徳芳, 畠山力三, 平田孝道, 石田裕

康, 茂木規行 (東北大学大学院工学研究

科)

[4] 主な研究発表

1. “High yield production of C₇₄ using an arc-discharge plasma”, R. Hatakeyama, T. Hirata, H. Ishida, T. Hayashi, and N. Sato, Thin Solid Films, **316** 51-55(1998).

2. “Experimental evidence for high-yield C₇₄ production in an arc periphery plasma”, R. Hatakeyama, T. Hirata, H. Ishida, and N. Sato, Appl. Phys. Lett., **Vol.73**, No.7 888-890(1998).

3. “Spatial Structure of K-Fullerene Plasma”, S. Sasaki, R. Hatakeyama, T. Hirata, W. Oohara, and N. Sato, 1998 International Congress on Plasma Physics, Praha, Czech Republic, June 29th – July 3rd 1998, p.454.

4. “K-フラーレンプラズマの空間構造”, 平田孝道, 佐々木 訓, 大原 渡, 畠山力三, 佐藤徳芳, 平成10年度電気関係学会東北支部連合大会, 1998年8月, 1E8, p.171.

5. “プラズマ制御によるSiCnフラーレンの生成”, 茂木規行, 平田孝道, 畠山力三, 石田裕康, 三重野哲, 佐藤直幸, 真瀬寛, 庭野道夫, 赤間洋助, 宮本信雄, 佐藤徳芳, プラズマ・核融合学会第15回年会, 1998年12月, 3pD11, p.352.

6. “フラーレンプラズマによるNa(@)C₆₀生成の実験”, 平田孝道, 畠山力三, 佐藤徳芳, プラズマ・核融合学会第15回年会, 1998年12月, 3pD12, p.353.

7. “放電・プラズマ利用フラーレンファミリーの生成”, 畠山力三, 第11回専門講習会「プラズマ応用の基礎」, 1998年12月, p.105。
8. “Na-フラーレンプラズマによるNa(@)C₆₀の生成”, 平田孝道, 畠山力三, 佐藤徳芳, 第45回応用物理学関連連合講演会, 1999年3月, 29a-YA-1, p.151。
9. “プラズマ制御によるSi-フラーレン複合物質の創製”, 茂木規行, 平田孝道, 畠山力三, 奥健夫, 三重野哲, 佐藤直幸, 真瀬寛, 庭野道夫, 宮本信雄, 佐藤徳芳, 日本物理学会第54回年会, 1999年3月, 29pXH1, p.808。

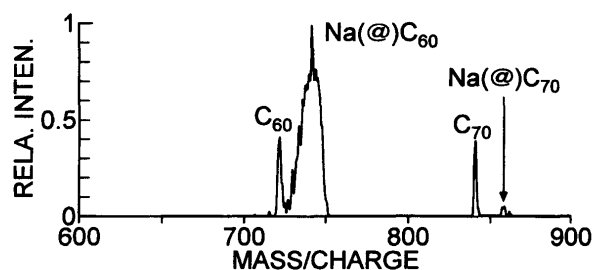


図1: Na-フラーレンプラズマ薄膜の質量分析スペクトル

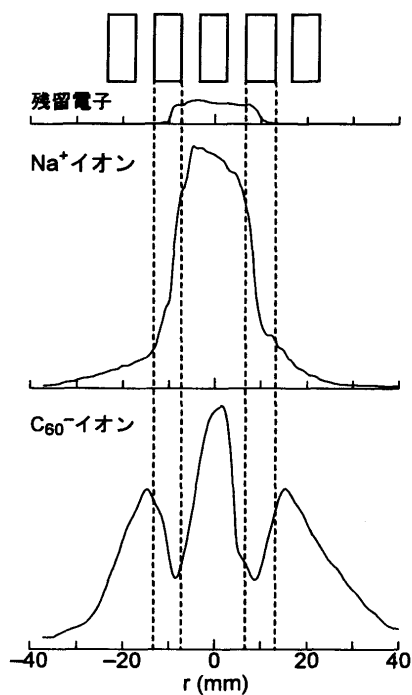


図2: プラズマ半径方向(r)密度分布

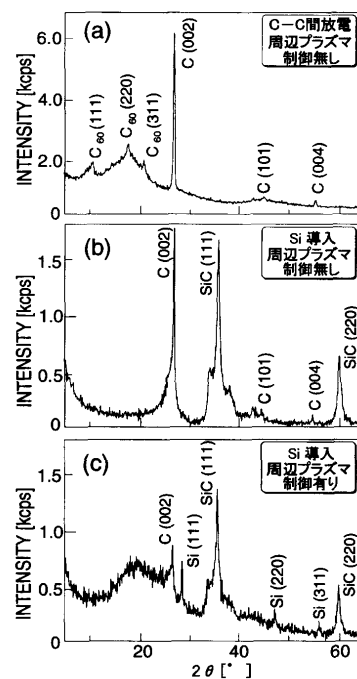


図3: X線回折 (XRD) による煤の構造・組成分析

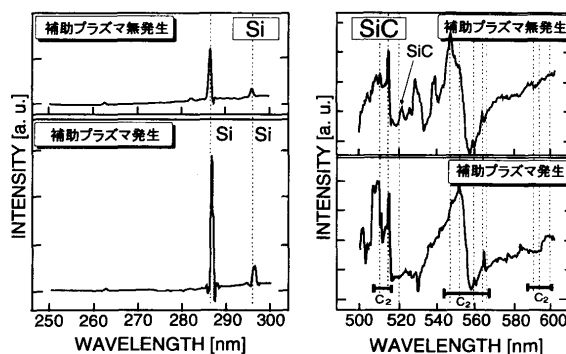


図4: アーク及び補助放電プラズマ光の分光測定

課題番号 H-9/A-7

超高速LSI用SOIMOSデバイス・プロセスの研究

〔1〕組織

代表者：大見 忠弘（東北大学未来科学技術共同研究センター）

責任者：坪内 和夫（東北大学電気通信研究所）

分担者：益 一哉（東北大学電気通信研究所）

横山 道央（東北大学電気通信研究所）

柴田 直（東京大学工学系研究科）

森田 瑞穂（大阪大学大学院工学研究科）

平山 正樹（東北大学大学院工学研究科）

小谷 光司（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）

森 勇蔵（大阪大学大学院工学研究科）

片岡 俊彦（大阪大学大学院工学研究科）

遠藤 勝義（大阪大学大学院工学研究科）

山内 和人（大阪大学大学院工学研究科）

杉山 和久（大阪大学大学院工学研究科）

山村 和也（大阪大学大学院工学研究科）

久保田 弘（熊本大学工学部）

佐々木 守（熊本大学工学部）

山部紀久夫（筑波大学物質工学系）

石原 宏（東京工業大学精密工学研究所）

徳光 永輔（東京工業大学精密工学研究所）

鳳紘 一郎（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）

藤島 実（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）

黒岩 紘一（東京農工大学工学部）

荒井 英輔（名古屋工業大学工学部）

安田 幸夫（名古屋大学先端技術共同研究センター）

財満 鎮明（名古屋大学先端技術共同研究センター）

池田 浩也（名古屋大学大学院工学研究科）

研究費：校費 ￥963,000, 旅費 ￥858,120

〔2〕研究経過

集積回路の高速化・高集積化のために推し進められてきた従来の半導体デバイス微細化一辺倒の技術開発が、限界に近づきつつある。多数存在する技術的・物理的な限界、或いは経済的な課題により、従来技術のエクステンションでは、来る21

世紀に市場出荷が義務づけられているギガ・スケール・インテグレーション（GSI）の実現どころか、マイクロエレクトロニクス産業が、産業として破綻をしかねない状況にあるからである。

本研究の目的は、超高速集積回路に最適な新材料・新構造を開発することにより、現在の集積回路と比較して約100倍もの動作速度を有するギガ・スケール・インテグレーションを安価に実現する製造プロセスを確立することにある。前年度は、①良好な閾値電圧制御特性、②従来に比べてより少ないCMOSデバイス製造工程数、③低ゲート電極抵抗の特徴を有するTaゲートSOI MOSデバイスについて、主に熱プロセスとデバイス構造に関する研究を行った。本年度は、TaゲートSOI MOSデバイスの信頼性と動作性能の更なる向上を図るために、ゲート金属スパッタリング成膜技術の開発を行った。具体的には、①プラズマ誘起ゲート酸化膜ダメージを極力抑え、②シリコン酸化膜上に低抵抗bcc-Ta薄膜を成膜することを世界で初めて実現した。

プラズマ誘起ゲート酸化膜ダメージの低減

プラズマ誘起ゲート酸化膜ダメージを大幅に低減することが可能な、ゲートTaスパッタリング成膜プロセスを開発し、スパッタリング成膜におけるプラズマとゲート酸化膜信頼性との相関関係を物理的な説明をもって解き明かした。すなわち、MOSデバイスの心臓部であるゲート酸化膜上に、ゲート金属材料をスパッタリング成膜する場合、成膜初期段階における、高エネルギーを持った不活性ガスイオンのゲート酸化膜への物理的な衝突が、ゲート酸化膜中にホールトラップ・サイト生成を引き起こし、その結果、ゲート酸化膜の信頼性を大きく劣化させる。そして、ゲート酸化膜上にゲート金属材料をスパッタリング成膜する工程において、上記のプラズマ誘起ダメージを抑制する幾つかの技術指針を提示した。以下に、その技術指針を列挙する。

1. ゲート酸化膜へのイオン照射エネルギーを可能な限り小さくする。
2. ゲート酸化膜に照射するイオンの質量をより大きくする。

3. ゲート酸化膜に照射するイオンの大きさをより大きくする。
4. 成膜時におけるプロセスチャンバ内の中性粒子平均自由行程をより小さくする。
5. プロセスチャンバのターゲットー基板間距離をより大きくする。

上記の技術指針にしたがって、スパッタリング工程におけるゲート酸化膜へのイオン照射エネルギーを20eVとし、質量が従来のArイオンに比べて約3.3倍重いXeイオンを用い、クヌーセン領域となるガスの流れの中で、ゲート酸化膜上にゲート電極となるTaを成膜した。試作したTaゲートMOSデバイスは、ゲート酸化膜特性に関して、絶縁破壊電界強度で約13MV cm⁻¹、50%Q_{bd}（基板注入電流密度：0.1A cm⁻²）で約30-C cm⁻²と、現在ゲート電極材料として標準的に用いられているポリシリコンゲートMOSデバイスとほぼ同等な性能を示した。また、ホットキャリア寿命の観点からも、ポリシリコンゲートMOSデバイスと同等なデバイス寿命をもつTaゲートMOSデバイスを具現化した。

bcc-Ta薄膜のゲート酸化膜上への成膜

スパッタリング成膜時における、薄膜へのイオン照射エネルギー・イオン照射量・イオン種という物理パラメータを精密に制御することにより、従来、成膜が困難であった体心立方構造（bcc, body centered cubic）Ta薄膜をゲート酸化膜上へ成膜することを可能にした。以下に、研究により明らかになったことを列挙する。

1. スパッタリング成膜したTa薄膜の結晶性は、成膜時における薄膜へのイオン照射エネルギー・イオン照射量に大きく依存する。言い換えると、成膜時のイオン照射条件を精密に制御することで、bcc-Taと（β-Taの薄膜を任意に成膜することができる。
2. β-Ta薄膜が形成されるイオン照射条件は二通り存在する。一つは、イオン照射による成膜表面の活性化が不足している時である。もう一つは、イオン照射による成膜表面の活性化が強すぎる時である。
3. Ta薄膜の結晶構造は、下地基板にも依存する。下地基板がSiの場合、SiO₂の時に比べてbcc-Taが成膜されるイオン照射条件の領域が大きい。
4. Ta薄膜の結晶構造は、イオン種にも依存する。Arイオンに比べて質量・直径が大きいXeイオンは、bcc-Ta形成を可能とするイオン照射条件範囲が大きい。薄膜表面にエネルギーを伝達する効率が低く、欠陥の誘起が抑制しやすいためと思われる。

○ まとめ

エネルギー制御されたXeイオン照射を利用するTa薄膜スパッタリング技術を用いることにより、高信頼性低抵抗bcc-TaゲートMOSデバイスを実現した。ゲート酸化膜上のTaゲート電極（膜厚150nm程度）のシート抵抗値に関しては、2.0Ω/sq.以下にまで下げることが可能にした。また、ゲート酸化膜の信頼性に関しては、絶縁破壊電界特性、Q_{bd}特性とも、従来のポリシリコンゲートMOSデバイスと同等の性能を得ることを可能にした。これらの成果は、過去約20年間指導的な指針でありつづけてきたスケーリング則の下においては更なる性能向上が見込めなくなりつつある半導体MOSデバイスについて、デバイス構造・材料自身を最適化することによりその動作パフォーマンスを飛躍的に向上させ、近い将来、現在の約100倍高い動作速度を有する半導体集積回路を実現し、安価に市場に提供するうえで、その貢献度は極めて高い。

[3] 研究会活動

研究会討論会を1回行った。

[第1回]

日時：平成11年2月22日、23日

場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

(1)「金属基板SOI LSI」

大見忠弘、牛木健雄（東北大学）

(2)「STMによるSi(001)ウエハ洗浄表面の原子構造の観察」

遠藤勝義、有馬健太、片岡俊彦、森 勇藏（大阪大学）

(3)「ナノメーターオーダーの微粒子測定機によるSiウエハの表面評価」

○安 弘*、森 勇藏**、片岡俊彦**、遠藤勝義**、山内和人**、井上晴行**（*大阪電気通信大学、**大阪大学）

(4)「ショットキーS/D・SOIMOSFETの試作と特性」

福岡哲也、藤島 実、鳳紘一郎（東京大学）

(5)【特別講演】「ドライエッチングの課題と将来展開について」

鈴木敬三（日立製作所）

(6)「強誘電体ゲートトランジスタを用いた適応学習型ニューロン回路のSOI基板上への集積化」

石原 宏、尹 聖民、徳光永輔（東京工業大学）

(7)「拡がり抵抗測定によるSOI層中キャリア分布の表面・界面における誤差とその補正の試み」

市村正也、内田秀雄、荒井英輔（名古屋工業大学）

- (8)「シリコンアナログRF CMOSアンプの研究」
横山道央、森本明大、斎藤哲也、立花良一、益一哉、坪内和夫（東北大学）
- (9)「原子状酸素の高効率生成とそのSi(100)基板の低温酸化への応用」
上野智雄、森岡あゆ香、近村伸悟、岩崎好孝、黒岩絃一（東京農工大学）

[4] 主な研究発表

- (1)Takeo Ushiki, Kunihiro Kawai, Mo-Chiun Yu, Toshikuni Shinohara, Kazuhide Ino, Mizuho Morita, and Tadahiro Ohmi, "Improvement of Gate Oxide Reliability for Tantalum-Gate MOS Devices Using Xenon Plasma Sputtering Technology," *IEEE Trans. On Electron Devices*, Vol. 45, No. 11, pp. 2349-2354, November 1998.
- (2)Takeo Ushiki, Mo-Chiun Yu, Kunihiro Kawai, Toshikuni Shinohara, Kazuhide Ino, Mizuho Morita, and Tadahiro Ohmi, "Reduction of Plasma-Induced Gate Oxide Damage Using Low-Energy Large-Mass Ion Bombardment in Gate-Metal Sputtering Deposition," *1998 IEEE International Reliability Physics*, Reno, pp. 307-311, March 1998.
- (3)Kazuhide Ino, Takeo Ushiki, Kunihiro Kawai, Ichiro Ohshima, Toshikuni Shinohara, and Tadahiro Ohmi, "Highly-Reliable, Low-Resistivity bcc-Ta Gate MOS Technology Using Low-Damage Xe-Plasma Sputtering and Si-Encapsulated Silicidation Process," *1998 Symposium on VLSI Technology*, Honolulu, pp. 186-187, June 1998.
- (4)河合邦浩、牛木健雄、余謨群、篠原壽邦、森田瑞穂、大見忠弘、「ゲート電極材料のスパッタリング成膜時におけるゲート酸化膜へのダメージ評価」、"Plasma Induced Damage of Gate SiO₂ during Sputtering Process", 信学技報、1998年2月、SDM97-198, pp. 87-92。
- (5)大嶋一郎、伊野和英、牛木健雄、河合邦浩、大見忠弘、「低抵抗bcc-Taゲート完全空乏型SOI MOSデバイス作製技術」、"Low-Resistivity bcc-Ta Gate FDSOI MOS Technology", 信学技法、1998年8月、SDM98-129, pp. 41-47。
- (6)河合邦浩、牛木健雄、余謨群、篠原壽邦、森田瑞穂、大見忠弘、「Ta/SiO₂界面反応層がタンタルゲートMOSデバイス特性に与える影響」、"Effect of tantalum reactions with gate oxide on performance and reliability of tantalum-gate MOS devices", 信学技報、1999年3月、SDM98-222, pp. 83-89。

課題番号 H-8/A-12

ニューロダイナミクスと その情報処理機能に関する研究

[1] 組織

代表者: 山本 光璋

(東北大学大学院情報科学研究科)

責任者: 矢野 雅文

(東北大学電気通信研究所)

分担者:

中尾 光之 (東北大学大学院情報科学研究科)

加藤 宏司 (山形大学医学部)

伊藤 憲一 (山形大学医学部)

宮川 博義 (東京薬科大学生命科学部)

吉田 祥子 (豊橋技術科学大学物質工学系)

前田 敏博 (滋賀医科大学)

佐藤 俊輔 (大阪大学大学院基礎工学研究科)

武者 利光 (脳機能研究所)

窪田 芳之 (理化学研究所)

八名 和夫 (法政大学工学部)

研究費: 校費 87万6千円, 旅費 66万6千円

[2] 研究経過

近年のニューラルネットワーク研究の隆盛の多くは、主にその応用研究によって支えられているといっても過言ではない。

しかしながら、神経科学の立場から見れば、このことは必ずしも、その発展に寄与するとは限らない。

事実、これまで明らかにされてきた神経生理学的知見は人工ニューラルネットワークにはほとんど反映されておらず、両者の差は開くばかりである。計算論的な立場から神経科学に貢献していこうとする計算論的神経科学だけにとどまらず、工学にとってもその新たな計算原理を模索する上で、実際のニューロンの働きを、それ本来の姿に近い形で再現し、その計算様式を研究することは意義深いことのように思われる。

本研究は、(1)人工的な環境下において、実際のニューロンの基本的な性質を調べる *in vitro* の実験を行うレベル。(2)実験的に得られたダイナミクスをモデル論的に解釈し、その情報処理機能を探るレベル。これらのそれぞれについて、神経生理学、生体情報学、神経薬理学などの広範な分野の専門

家を結集し共同して、実験レベルで見い出される知見の機能的な意義を明らかにすることを目的にしている。

研究成果は以下の通りである。

海馬CA3神経回路網と非線形振動子との相互作用

脳はさまざまな機能を持ったモジュールの集合体であり、それらが相互作用することにより複雑な情報処理機能を実現しているものと考えられている。それゆえ脳の機能を理解するには、機能モジュール単体の特性を明らかにするだけでなく、モジュール間の相互作用の性質を調べる必要がある。

ここでは海馬神経回路網のダイナミクスを明らかにするため、脳の1モジュールとして、海馬CA3領域（以下CA3）と人工のモジュールとしてリミットサイクルモデルである **Radial Isochron Clock**（以下、**RIC**）モデルを相互結合し、系全体のダイナミクスについて調べた。モジュール間の相互作用の形態と、そこで顕在化するダイナミクスの関係を調べることは、脳機能メカニズムを解明する上で重要であると考えられる。

実験は以下に行った。モルモット（280～400g）の脳から海馬スライス標本（400 μ m厚）を摘出し、CA3錐体細胞層に記録電極を、苔状線維（**Mossy Fibers: MF**）に刺激電極を刺入した。CA3はスライス標本として取り出した場合、通常は自発活動を呈さないが、灌流液を高濃度カリウム（8.5mM）とペニシリン（2mM、GABA受容体のブロックとして働く）を含む実験用人工脳脊髄液に切り替えると、概周期的な自発活動を呈するようになる。このとき、**MF**に強い電気刺激（0.1mA以上）を与えると、刺激に対してほぼ確実に発火応答を呈したが、刺激強度を閾値下（0.03～0.07mA）にすると、応答の有無が刺激タイミングに依存し、多様な発火パターンを呈するようになった。以上の操作を行ったうえで、CA3と計算機内に構築したリミットサイクル（**RIC**）を相互結合した。**RIC**の位相が0を横切ったとき、CA3に閾値下強度の刺激に与え、CA3が発火したとき、**RIC**にインパルス状の摂動Aを与えた。**RIC**が摂動を受けたときの挙動は位相反応曲線（これは解析的に求めることができる）によって記述した。**RIC**への摂動の大きさAを変えて、**RIC**による刺激時

系列とCA3の発火時系列を計測した。

CA3の発火時刻とその直前の刺激時刻の時間差を位相 $\phi(j)$ と定義し、そのダイナミクスを解析した。 $A=0.95$ のとき、位相は5周期様のパターン(刺激3回に対しCA3が5回発火する3:5相互引き込み)が断続的に現れる複雑なダイナミクスを呈した。一方、 $A=-0.95$ のときは、3周期様のパターン(刺激2回に対してCA3が3回発火する2:3相互引き込み)を呈した。

これらの位相ダイナミクスのメカニズムを調べるために、CA3を非線形振動子と考え、CA3の応答潜時を調べたところ、その性質が固有発火周期 T_p (3~4sec)、不応期 T_c (1.5~2.2sec)、および、応答潜時 T_L (約0.1sec)で特徴付けられることが示された。

以上の結果に基づいて、CA3の位相反応曲線を記述し、既知であるRICの位相反応曲線と組み合わせることにより、CA3-RIC結合系ダイナミクスを再構成した。実験データと比較検討したところ、両者は概ね一致していたが、海馬CA3神経回路網のダイナミクスは、 T_c や T_p のゆらぎなど、位相反応特性の枠組みだけでは捉えられない、多様なダイナミクスを含んでいることが示された。

ニューロンドダイナミクスと自己組織化における細胞内外の物質過程の役割

イオン・イメージングをはじめとした光学的手法と、パッチクランプ法等の電気生理学的手法を併用して、海馬スライス標本におけるニューロン活動の解析を行った。これにより海馬錐体細胞の興奮性が各種イオンチャネルやトランスポーターの活性により精密に調節され、さらにこれらの機能分子は細胞外からの伝達物質や細胞内の情報伝達系により直接・間接にコントロールされていることを明らかにした。

海馬CA1領域においてグルタミン酸によって媒介されるシナプス興奮伝達に伴う膜電位変動をイメージングにより測定した。それにより、シナプス間隙のグルタミン酸のグリア細胞の取り込みによる膜電位変動成分を同定した。また、シナプス間隙におけるグルタミン酸濃度の時間経過を推定した。

生体外で未分化小脳を分化・発展させる条件として、複数種のグルタミン酸受容体の多形的な活動があることを見た。顆粒細胞由来の入力に関するグルタミン酸受容体の活動によりプルキンエ細胞の選択的神経死が大きく修飾された。

脳内神経回路網は、これまで我々が明らかにし

たように、能動的なイオンチャネルが存在する樹状突起を有する神経細胞からなる多自由度の系であると考えられる。しかしながら、神経回路網は、概周期振動など低自由度系に良くみられるような振る舞いを示すことがある。本研究ではそのような状態にある海馬神経回路網と人工的非線形振動子を結合して、脳内でのモジュール間相互作用を模擬した系を作り上げた。この時、結合系に顕在化するダイナミクスやその自由度は結合パターンや非線形振動子の力学的性質に依存して変化することが示された。このことから、脳における神経モジュール間相互作用においても、互いの結合パターンや力学的性質を細胞内外の物質的過程や可塑性によって変化させながら情報処理を行っていることが示唆された。この知見は脳機能を調べる上で新しい枠組みを与えるものである。我々は一貫して、積分+閾値素子的なニューロン像が、最新の神経生理学的知見に照らして現実的ではないと主張してきた。今回の共同プロジェクトでは、このようなニューロン像に基づくモデル化を行い、さらに神経回路網ダイナミクスの多様性を明らかにした。ここで得られた知見は脳科学において新しい方向性を拓くものと期待される。

[3] 研究活動報告

研究打合せを10月23日~25日、3月10日~3月15日の二回行った。次のようなテーマについて研究発表を行い、討論を深めた。

山本光璋、中尾光之(東北大・情報科学) :

「海馬スライスにおけるニューロン回路網の非線形振動と相互引き込み」

加藤宏司、伊藤憲一(山形大・医) :

「海馬ニューロンにおけるLTPおよびLTD形成のメカニズムについて」

宮川博義(東京薬科大・生命科学) :

「海馬スライスをもちいたグリア/神経活動の光学解析」

吉田祥子(豊橋技術科学大学物質工学系) :

「小脳顆粒細胞によるプルキンエ細胞の発達制御」

矢野雅文(東北大・通研) :

「振動子ニューラルネットワークの情報処理能力」

その他、当初計画した構成員には加わらなかったが、標記研究題目の観点からユニークかつ興味深い研究をされている研究者を適宜招いて研究打合せを行った。今年度は、三浦正巳(金沢大)、坪川宏(自治医大)の各氏を招聘した。このうち、三浦氏はGqノックアウトマウスの海馬におけるシ

ナプス長期増強現象 (LTP) に関する最新の成果をご披露頂き、シナプス可塑性の調節メカニズムについて議論して頂いた。坪川氏は、カルモジュリンキナーゼII (CaMKII) が活動電位の樹状突起伝播を制御することを実験的に明らかにしており、樹状突起伝播の機能と細胞内過程の関係を議論して頂いた。

[4] 主な研究発表

- (1) N. Katayama, M. Nakao, and M. Yamamoto, "A Formal Neuron Model with Active Dendrites", Proc. Methodologies for the Conception, Design and Application of Soft Computing, World Scientific, pp.105-108(1998)
- (2) N. Katayama, N. Nakao, and M. Yamamoto, "Dynamics of Active Neuronal Dendrites and their Functional Significance", Proc. Intl. Conf. Knowledge-based Intelligent Electronics Systems, pp.240-245(1998)
- (3) 中尾光之, 片山統裕, 山本光璋, 宗像正徳, スペクトログラムによる心拍1/fゆらぎの構造解析, 医用電子と生体工学, 36(4), pp.370-381(1998)
- (4) T.Takahashi, M.Nakao, F.Grüneis, Y.Mizutani, and M.Yamamoto, "Higher-Order Spectra of Cluster Point Processes Generating 1/f Fluctuations", Interdisciplinary Information Sciences, 4(1), pp.51-64,(1998)
- (5) M. Nakao and M.Yamamoto, " Bifurcation Properties of The Two Process Model", Psychiatry and Clinical Neurosciences, 52(2), pp.131-133 (1998)
- (6) M. Nakao, T. Takizawa, K. Nakamura, N. Katayama, and M. Yamamoto, "A Cardiovascular Control Model of 1/f Fluctuations in Heart Rate Variability", Proc. IEEE 20th Ann Conf Eng Med Biol Soc, pp.279-282(1998)
- (7) H. Furuse, H. Waki, K. Kaneko, S. Fujii, M. Miura, H. Sasaki, K.-I. Ito, H. Kato, S. Ando, "Effect of the mono- and tetra-sialogangliosides, GM1 and GQ1b, on long-term potentiation in the CA1 hippocampal neurons of the guinea pig", Exp. Brain Res. 123, pp.307-314,(1998)
- (8) 伊藤憲一、金子健也、加藤宏司、"パソコンによるニューロン活動の記録と解析", 日本生理 60, pp.331-340, (1998)
- (9) K. Kato, K.-I. Ito, H. Kato, K. Mikoshiba, "Mechanism of seizure and opisthotonus revealed in mice lacking ip3 type 1 receptors", Neurosci. Res., Suppl 22, S66,(1998)
- (10) K.-I. Ito, M. Yoshioka, S. Fujii, K. Kato, K. Mikoshiba, "[Ca²⁺] dynamics related to the induction of LTP in hippocampal neurons of the mouse lacking IP3R1", Neurosci. Res., Suppl 22, S110, (1998)
- (11) Y. Yamazaki, K.-I. Ito, S. Fujii, H. Sasaki, K. Kaneko, S. Ito, H. Kato, "Synaptic plasticity in the hippocampal CA1 neurons of guinea-pig induced by ATP-microinjection", Jpn J. Physiol. 48(suppl), S120.(1998)
- (12) K.-I. Ito, T. Nagase, S. Fujii, H. Kato, M. Yoshioka, T. Inoue, K. Kato, K. Mikoshiba, "LTP and LTD in the hippocampal CA1 neurons of mutant mice lacking IP3 receptor type 1", Jpn J. Physiol. 48 (suppl), S122(1998)
- (13) K. Kunio, T. Nagase, K.I. Ito, H. Kato, K. Mikoshiba, "The modulation of NMDA receptor activity in the IP3 type 1 receptor knockout mouse", Jpn J. Physiol. 48(suppl), S125.(1998)
- (14) M. Kobayashi, T. Takeda, Y. Sato, Y. Yamazaki, K.-I. Ito, H. Kato, H. Inaba, "Ultraweak spontaneous photon emission from brain studied in vivo and in vitro rat brain", Soc. Neurosci., 24, p.427,(1998)
- (15) Y. Yamazaki, K.-I. Ito, S. Fujii, K. Kaneko, H. Kato, K. Goto, "LTP and LTD induced by local application of ATP in CA1 hippocampal neurons of the guinea-pig", Soc. Neurosci., 24, p.1070,(1998)
- (16) T. Hirasawa, T. Nakamura, K. Nakamura, H. Miyakawa, I. Ezawa and Y. Kudo, "Fluo-3 as an Extracellular Ca²⁺ Indicator: Warning on the Use of the Dye for Slice Preparations", Bioimages 6, pp.99-107(1998)
- (17) T. Hirasawa, T. Nakamura, M. Morita, I. Ezawa, H. Miyakawa, Y. Kudo, "Activation of dihydropyridine sensitive Ca²⁺ channels in rat hippocampal neurons in culture by parathyroid hormone", Neurosci. Lett. 256, pp.139-142(1998)
- (18) 宮川博義、"皮質ニューロンとは何か？－生理学からのレビュー", 神経回路学会誌 5(4), pp.165-170(1998)
- (29) S. Watanabe, H. Takagi, M. Inoue, T. Miyasho, Y. Kirino, Y. Kudo and H. Miyakawa, "Differential roles for two types of voltage gated Ca²⁺ channels in the dendrites of cerebellar Purkinje neurons", Brain Res. 791, pp.43-55(1998)

課題番号 H-10/A-1

主鎖型液晶高分子の二次非線形光学効果の高効率化
とその積層を利用した光デバイスに関する研究

1. 概要

光情報化時代の今日、光波のマニピュレーション技術およびデバイスの開発は光情報の表示、記録、処理（光コンピューティングを含む）に不可欠といえる。この分野に高分子の非線形光学特性を応用することは衝撃に強いデバイスが構築できる可能性を期待できるばかりでなく、高分子材料の付加価値の高い新たな応用分野を開拓すると云う意味でも重要である。

有機非線形光学材料は国内外の多くの人々によって開発、研究されている。しかし、まだ実用化されたとは聞かない。その理由は、緩和などが生じ耐久性に問題がある、加工や研磨がしにくい、等によると考えられる。これに対して、我々が開発してきた「主鎖型液晶性高分子」はもともと高強度、高弾性率、高耐熱性を目指して開発されてきたものであり、この光非線形性あるいは変換効率を高めれば、実用化に耐えうるものを作成できると考えられる。これら主鎖型液晶性高分子のある種のものは大きい二次非線形光学効果を示す。それは、結合要素が head-to-tail に結合している場合であり、個々の要素の超分極率の加成性が成立するからであると考えられる。このような光非線形性高分子の薄いフィルムを機械方向（製膜の方向）が互いに逆方向になるよう積層し、ドメイン反転疑似位相整合を実現するならば、更に、高効率な波長変換素子が実現できると期待される。そこで、すでに無機非線形光学物質を用いた交互反転電界印加により、ドメイン反転構造の連続体を実現し、ドメイン反転疑似位相整合に成功されている対応教官の伊藤弘昌教授の助言と指導を仰ぎ、この目的を達成しようとした。用いた高分子は4-hydroxy-benzoic acid (PHB) と 2-hydroxy-6-naphthoic acid (HNA) のモル比で 60:40 の共重合体である。これを、液晶温度（285度）でスリットから引き出し製膜すると、非線形光学係数 d_{exp} が約 5 pm/V のフィルムが得られる。このような機械配向フィルムを元に、高効率な波長変換デバイスを実現することを意図している。

2. 研究者所属氏名

研究代表者：浅田忠裕（京大院工）

通研対応教官（共同研究者）：伊藤弘昌

3. 研究経過

用いた材料は PHB (4-hydroxy-benzoic acid) と HNA (2-hydroxy-6-naphthoic acid) の共集合ポリエステルで、組成（モル比）は (PHB/HNA) : 60/40 である。成分はいずれも芳香環を骨格としている、したがって、ポリマーは芳香環連鎖の骨格よりなる。

SHG を発現する重合体は重合器から取り出し、粉末にしたものでも高い SHG を示す。これを熔融し薄いフィルムに製膜すると更に高い SHG を示すことが明らかになった。

かくの如く、この液晶性高分子は大きい二次非線形光学効果を示す。これは結合単位が head-to-tail に結合し、超分極率の加成性が成立することによると考えられる。分子軌導法を利用した分子シミュレーションで計算してみても、超分極率 (β) が重合度とともに増大することがわかる。

まず最初は、単純な積層によって変換効率をどれほど上げられるかを検討することにした。フィルムを積層して用いるためには、界面での光散乱を抑制しなければならない。最初はこの検討から研究をスタートした。このためにフィルムの紫外、可視、近赤外、赤外波長での透過スペクトルを測定した。スペクトルの測定は、単に散乱の問題の検討のみならず、非線形光学の性質を測定する際に関係光（基本波光、2 次、3 次非線形光）と吸収スペクトルの位置関係をチェックする目的もある。また、一方でフィルム自体の光散乱を低く抑さえ、かつ、二次非線形光学効果 (SHG) の大きいフィルムが得られる製膜条件を選ぶための検討も行った。フィルムの積層構造は、最終的にはドメイン反転疑似位相整合を利用し、より高効率な波長変換デバイスの実現を目指すものである。

4. 研究成果

A) 分子軌導法による超分極率の計算

重合度と超分極率 (β) の関係を分子軌導法に基づく分子シミュレーションによって計算した。方法は 1) コンポーネントとなる化学要素から分子を構成せしめる。2) MNDO Parametric Method 3

(James J.P.Stewart,J.Comput.Chem.10,209 (1989))を用い安定構造の最適化を行う。3) CNDO/S法を用い、時間依存の揺らぎ法によって、 β を求める。 β を結合要素の数に対してプロットすると、 β は結合要素の数に対して、単調に増加する。PHB、HNAは4から7程度の β 値であるが、PHBとHNAが1個ずつ結合すると約70になり、要素8個の繋がり物では約 $180 \times 10^{-30} \text{ e s u}$ となった。

B) 機械的配向フィルムの透過スペクトル

試料フィルムの紫外、可視、近赤外、領域の透過スペクトルを測定した。図示は略したが、Film A, Film Bは共に強い光散乱を示し、透過率が低い。等屈率液晶に浸漬することによって、改善することができた、即ち、1064 nmで透過率が29.3%から70.7%と大幅な改善がみられた。しかしながら、532 nmにおける透過率はいぜん低く、約32.8%程度であった。なお、液晶による吸収は350 nmから1600 nmの範囲には認められなかった。先の測定でFilm A, Bは1064 nm光を基本波とするSHG測定には不向きなことがわかった。このように、このフィルムの透過光スペクトルを調べると、製膜条件によって用いる波長において光散乱が大きい場合が有ることがわかった。そこで、製膜条件を最も好都合に選びサンプル・フィルムを作成した。このフィルムをFilm Eとするがこのフィルムの透過率曲線は良好で、特に、短波長側の透過率も良く、Film A, Bと質的に異なる良い傾向を示した。また、化学構造の近い等屈折率な低分子液晶に浸漬することによって、光散乱による透過率の低下を、更に、防止できることが明かとなった。これにより、良好な透過率曲線を示すようになった。波長532においても、透過率は82%以上であった。

C) 分子配向度とSHG

X-線的に調べたフィルムの配向度とメイカー・フリンジ法より求めた非線形光学係数の値とは、強い相関関係があり、配向度が高い方が非線形光学係数の値は大きい。しかし、あまり配向度を上げると内部でフィブリル化が強く起こり大きい光散乱の原因となり、光学材料としては不向きなものとなる。適当な配向度にとどめることが、肝要であることが明かとなった。

D) フィルムの単純な重ね合わせによるSH光強度の変化

厚み11ミクロンのフィルムEを重ね合わせ発現するSH光強度との関係を見た。この場合、等屈折率液晶に浸漬したフィルムを用いた。また、界面にも同じ液晶をペーストした。ただし、両サイ

ドから強く押さえ界面に液晶があからさまに在るということは避けた。このようにして、接合が上手く行くとメイカー・フリンジ測定でフリンジが観測された。フリンジの最初の極小の位置から、コヒーレント長を算出すると11.2ミクロンとなり、屈折率から求めた値とほぼ一致した。厚み11ミクロンはこれにちかいので、重ね合わせするごとに、上昇下降を繰り返した(ただし、垂直入射0°の場合)。各重ね合わせの度ごとに、試料の角度を変え、それぞれの最大値を重ね合わせ枚数に対して表すと、5~6枚までは増加傾向が(SH光強度の)見られる場合もあった。その値は、およそ1枚の示すSH強度の8倍に達した。

5. まとめ

- (1) 光非線形性高分子フィルムを用いる場合、極度に配向させるとフィブリル化した組織が形成され、散乱が強くなり透過率を下げすぎる(Film A, Film Bのケース)ので、配向度を極端に上げないことが大切である。
- (2) フィルムを重ね合わせる際、等屈折率液としての化学構造の似た液晶分子に浸漬し、また、表面に塗布することは効率を高める上で有効であることがわかった。
- (3) 疑似位相整合を成立したと断定するには至らなかったが、フィルムの厚みを厳密に制御すれば可能性はある。また、諸種の厚みのフィルムを作成し、いろいろの組合せで試みる方法も一つの方法と考えられる。

課題番号 H-9/A-2

酸化物超伝導体のミリ波・サブミリ波デバイスに関する研究

1. 組織

企画者：大嶋 重利（山形大学工学部）
 責任者：山下 努（東北大学電気通信研究所）
 分担者：楠 正暢（山形大学工学部）
 中村 嘉孝（八戸工業高等専門学校）
 道上 修（岩手大学工学部）
 大矢銀一郎（宇都宮大学工学部）
 小林 禧夫（埼玉大学工学部）
 高田 進（埼玉大学工学部）
 山本 寛（日本大学理工学部）
 伊藤 公一（千葉大学工学部）
 川崎 雅司（東京工業大学大学院）
 安岡 義純（防衛大学校）
 齋藤 幸典（山梨大学工学部）
 今井 捷三（北陸先端大）
 藤巻 朗（名古屋大学大学院）
 斗内 政吉（大阪大学超伝導エレクトロニクスセンター）
 吉田 啓二（九州大学大学院）
 大杉 武司（アイシン精機）
 井下 佳弘（アンリツ）
 名取 栄治（セイコーエプソン）
 高橋 和浩（信光社）
 佐藤 敏美（住友重機）
 山下 信一（TDK）

研究費：校費1114千円 旅費1421千円

1. 序論

酸化物超伝導体の表面抵抗はマイクロ波～ミリ波帯において、通常の金属と比較して2～4桁程度小さい。その性質を利用してフィルター、アンテナ、遅延線路等のパッシブなデバイスの高性能化、又、超伝導の非線形現象を利用したミキサや検出器、磁束量子運動を利用した新しいデバイスの開発が検討されている。本プロジェクト研究では、次の様な研究を系統的に検討している。

- (1)マイクロ波デバイス用大面積超伝導薄膜の作製技術の検討
- (2)基板、超伝導体の高周波物性評価技術の確立
- (3)超伝導デバイスの設計及び評価の検討
- (4)新しい電磁波デバイスの検討

(5)小型冷凍機の検討

研究は平成9～11年度の3年間とし、平成10年度は主として研究会を中心とした研究活動を行ない酸化物超伝導体のミリ波・サブミリ波デバイスの基礎的な検討を行なった。以下に平成10年度に開催した研究会と研究者の最近研究成果を述べる。

2. 研究会

第1～3回、研究会「高温超伝導体のミリ波・サブミリ波デバイス」を下記の要項で開催した。研究発表会のプログラムは以下の通りである。

第1回研究会

「高温超伝導体のマイクロ波～サブミリ波デバイス」

日時：平成10年7月24日（金）

場所：仙台市太白区 茂庭荘

講演題目及び講演者：

「プロジェクト研究の概要」山形大 大嶋重利、
 「ジョセフソン電圧標準技術の精密計測への応用」アドバンテスト 吉田春雄、「コプレナー伝送線路の設計と応用」九州大 吉田啓二、
 「デバイス冷却用4 Kパルス管冷凍機開発の現状」日大 松原洋一、「マイクロストリップ共振器法による誘電体基板の誘電率、 $\tan \delta$ の測定」山形大 岡井大祐

第2回研究会

「マイクロ波～光」デバイスの最近の動向

日時：平成10年12月9日（水）

場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

講演題目及び講演者：

「郵政省でのミリ波・サブミリ波研究プロジェクト」通総研 福地一、「大容量光伝送用電子デバイスの動向」NTT 佐野栄一、「テラフォトニクス」東北大通研 伊藤弘昌、「高速無線アクセスを可能とする近世代移動通信の研究開発」NTTDoCoMo 安達文幸

第3回研究会

「高温超伝導体の最近の理論、物性」

日時：平成11年2月5日（金）

場所：東北大学電気通信研究所

講演題目及び講演者：

「高温超伝導体の最近の理論的展開」東北大金研 前川楨通、「高温超伝導体の物性」東北大

小池洋二、「ポスターセッション」東北大、山形大、宇都宮大、埼玉大、山梨大、防衛大、北陸先端大、大阪大の学生及び原研の若手研究者によるポスター発表（総数20件）

3. 研究成果

高温超伝導体のミリ波・サブミリ波デバイスに関する共同プロジェクトでは、多くの大学・企業の研究者が参加しており、平成10年度においても多くの成果を上げている。その中でいくつかのトピックス的な成果を紹介する。

3-1 超伝導単電子トンネル素子の開発

東北大学電気通信研究所の山下教授（未来科学技術共同研究センター教授）らのグループは、高温超伝導単結晶を用いて液体ヘリウム温度で動作する単電子トンネル素子を実現した。Bi2212針状単結晶を集束イオンビームを用いてサブミクロン加工し、高温超伝導の特徴的な構造を利用して単電子デバイスの作製に成功した。単電子トンネル現象は、これまで金属や半導体で観測されているが、面積がサブミクロン平方程度では10mK程度の極低温が必要であった。ところが、Bi2212単結晶素子は超伝導層と絶縁層の積層構造を有しており、静電容量は接合の層数に逆比例して小さくなる。一方、単電子トンネル現象を起こすための帯電エネルギーは積層の数の増加とともに大きくなるという特徴がある。このため、積層の数が50位で、4.2Kで単電子トンネル現象が起こることを実証した。

3-2 高温超伝導体高周波表面抵抗測定の国際標準

高温超伝導薄膜をマイクロ波デバイス、例えば超伝導フィルタ、超伝導アンテナ等に応用する場合、正確な表面抵抗値を知ることが必要になる。表面抵抗の測定法として誘電体共振器法が日本から提案され、測定手法、精度等が検討されている。埼玉大学の小林教授を中心に、山形大学、電総研、京セラ、アムテル等が参画し、そのドラフトを検討している。山形大学の嶋教授らのグループでは、誘電体共振器法によりYBCO薄膜の表面抵抗を測定し、薄膜の結晶粒配向と表面抵抗に密接な相関があることを見出した。

3-3 高温超伝導薄膜からテラヘルツ電磁波の放出

電流が流れている高温超伝導薄膜にフェルムト秒レーザを照射すると、超伝導薄膜からTHzの電磁波が放出されることを大阪大学の超伝導エレクトロニクス研究センターの斗内助教授のグループ

が発見した。彼等は、放射される電磁波の強さは超伝導体に流れる電流に依存し、位相は電流の向きに依存することを明らかにした。この電磁波を検出することにより、逆に超伝導体に流れる電流分布の測定が可能となる。この方法を用い、超伝導薄膜の電流分布、マイスナー状態におけるシールド電流等の観察に成功している。

3-4 デバイス用小型冷凍機の開発

超伝導デバイスを実用化する場合、素子をTc以下に冷却する必要がある、その手法を検討することは重要である。現在、小型冷凍機による冷却法が検討されているが、重量、冷却能力、価格等が問題となっている。山形大学大嶋教授グループと住友重機械工業では、超伝導デバイス用小型冷凍機の開発を検討している。小型スターリング冷凍機を用い、入力80Wで60Kまで冷却出来る事やその冷凍機に超伝導アンテナを装着しアンテナ特性を評価し、十分デバイス用に使用可能であることを明らかにした。

4. 波及効果

高温超伝導体のマイクロ波～光デバイスの創製、超伝導体の新しい現象の発見、高温超伝導体特有の効果の発見等様々な研究成果が生まれている。これらの研究成果は、超伝導エレクトロニクス研究の進展に寄与するだけでなく、新しい研究分野の開拓にもつながり、波及効果は大きい。また、平成11年度にはさらに研究を進め、真に実用化できる超伝導デバイスの開発を検討する。

5. 研究発表論文

1. K.D.Develos, M.Kusunoki, S.Ohshima, "Studies on the Surface Morphology and Orientation of CeO₂ Films Deposited by Pulsed Laser Ablation", Jpn.J.Appl.Phys.Vol.37, pp.6161-6169, Part1, No.11, 1998
2. M.Kusunoki, T.Suto, D.Okai, M.Mukaida, S.Ohshima, "Microwave Surface Resistance of YBCO Thin Films on Cerium Oxide Buffer Pattern Technique", 1998 Applied Superconductivity Conference(ASC '98), 1998
3. A.Hasegawa, T.Uchida, Y.Yasuoka, "Slot antenna coupled YBCO Josephson mixers for millimeter-wave radiation", 1998 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC '98) Proceedings, Vol.2, pp1079-1082, 1998
4. Y.Kanda, K.Yoshida, "High Performance LiNbO₃ Optical Modulator with a Superconducting

- Transmission Line”, *Applied Superconductivity* pp.299-302, 3 July 1997
5. Y.Kanda, K. Yoshida, and I.Uezono, “Design and Performance of LiNbO_3 Optical Modulator with a Superconducting Electrode”, *Jpn.J.Appl.Phys.* Vol.37 (1998) PP.3736-3738 Part1, No.6B, June 1998
 6. J.Sakai, J.Hioki, T.Ohnishi, T.Yamaguchi, S.Imai, “ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-z}/\text{Pr}_{0.5}/\text{Ca}_{0.5}\text{Mn}_3\text{O}_3\text{-y}/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-z}$ ”, Sandwich Type Josephson Junctions, *Jpn.J. Appl.Phys.*, Vol.37, No.6A, 1998, pp.3286-3289
 7. A.Irie, Y.Hirai and G.Oya, “Fiske and flux-flow modes of the intrinsic Josephson junctions in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ mesas”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.72, No.17, 1998, pp.2159-2161.
 8. A.Irie and G.Oya, “Josephson vortex motion with the highest velocity mode in the intrinsic Josephson junctions of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ mesas”, 1998 *Applied Superconductivity Conference*.
 9. S.Takada S, “Nb-based Tunnel Junction as a Key Technology for radiation detection”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.37, Supplement 37-2, p.3, 1998
 10. H.Akoh, H.Nakagawa, K.Joosse, M.Aoyagi, A.Esposito, K.Maehata, K.Ishibashi, S.Takada, “Fabrication of High Quality Superconducting Tunnel Junctions”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.37, Supplement 37-2, pp.10-12, 1998
 11. C.Koster, J.Chen, H.Myoren, K.Nakajima, T.Yamashita, S.Takada, “Enhanced AC Josephson effect in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ junctions driven by two RF sources”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.37, pp.4356-4357, 1998
 12. M. Horibe, K. Kawai, A. Fujimaki, H. Hayakawa, “Ramp-edge Josephson junctions using barriers of various resistivities”, *IEICE Trans. Electronics*, Vol.E81-C, No.10 (1998), pp.1526-1531
 13. H.Myoren, M.A.J.Verhoeven, J.Chen, K.Nakajima, T.Yamashita, D.H.A.Blank, H.Rogalla, “High-Tc ramp-type Josephson junctions on MgO substrates for terahertz applications”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol.8, pp.132-136, 1998
 14. H. Endo, Y. Nagayama, T. Watanabe, H. Yamamoto, “SYNTHESIS OF C_{60} COMPOUNDS FROM REACTION IN SOLUTION PHASE”, *Super Carbon*, Eds by S. Fujiwara, M. Kamo, R. Ruoff, R. Heimann, D. Marton, and H. Hiraoka, MYU, Tokyo, 1998, pp.5-8.
 15. H. Endo, T. Watanabe, Y. Nagayama, N. Yoshiyama, and H. Yamamoto, “SYNTHESIS OF M_1C_{60} ($\text{M}=\text{Rb}$, Sr , Y) COMPOUNDS BY ELECTROLYSIS”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol.316, 1998, pp.347-352.
 16. Y. Kobayashi and H. Yoshikawa, “A two-mode dielectric rod resonator method for measuring surface impedance of high- T_c superconductors,” *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest Proc.* No. WEIF-63, June 1998.
 17. Y. Kobayashi, “Development trends of microwave high- T_c superconductor Filters,” (Invited) 1998 *Int. Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology Proc. (ICMMT '98)*, pp. 36-39, Aug. 18-20, (Beijing, China).
 18. S.Shikii, T.Kondo, M.Yamashita, M.Tonouchi, M.Hangyo, “Observation of supercurrent distribution in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ thin films using THz radiation excited with femtosecond laser pulses”, *Appl. Phys. Lett.* Vol.74, No.9, (1998) 1317-1319.

課題番号 H-9/A-1

人間とエージェントの協調を支援する拡張現実空間とそのソフトウェアに関する研究

[1] 組織

代表者：菅原 研次（千葉工業大学工学部）

分担者：白鳥 則郎（東北大学電気通信研究所）

根元 義章（東北大学大学院情報科学研究科）

西関 隆夫（東北大学大学院情報科学研究科）

阿曾 弘具（東北大学大学院情報科学研究科）

牧野 正三（東北大学大学院情報科学研究科）

宮崎 正俊（岩手県立大学情報学部）

佐藤 雅彦（京都大学工学部）

長沢 庸二（鹿児島大学工学部）

金森 吉成（群馬大学工学部）

今宮 淳美（山梨大学工学部）

滝沢 誠（東京電機大学理工学部）

山崎 晴明（山梨大学工学部）

石田 亨（京都大学大学院情報科学研究科）

柴田 義孝（岩手県立大学情報学部）

照屋 健（琉球大学工学部）

浮貝 雅裕（千葉工業大学工学部）

服部 文夫（NTTソフトウェア株式会社）

木下 哲男（東北大学大学院情報科学研究科）

岡田 謙一（慶応大学工学部）

宗森 純（大阪大学工学部）

程 子学（会津大学）

ゴータム・チャクラボルティ（会津大学）

通研担当教官：白鳥 則郎

研究費：校費 1,138千円，旅費 1,643千円

[2] 研究経過

現在エレクトロニックコマース、バーチャルショッピングモール、電子キャッシュなど、ネットワークを利用した企業・教育機関・コミュニティに関する社会活動が活発になってきている。このような社会のありかたは、サイバー社会とよばれ、これを構成するための技術は、これから多くの人々の社会活動のためのインフラストラクチャを形成することと予想されている。

しかしながら、一般利用者が、ネットワークが提供する情報やソフトウェアを使いこなすことは、現在のままでは困難を伴い、将来の高度ネットワーク社会への移行への大きな障壁となっている。この障壁を乗り越えるためには、現実世界の

人間活動の様式を、ネットワークシステム世界における活動の様式へ拡張する新しいソフトウェア技術を開発することが重要であり、また電子商取引などネットワークシステム世界の活動の結果が現実世界へ反映するなど、ネットワークシステム世界のリアリティを形成する拡張現実空間の概念と、そのソフトウェアを構築する技術が必要である。

本研究では、上記の拡張現実空間を実現するためのモデルやソフトウェアを積極的に提案し、これに基づいて将来の高度情報化社会に必須のソフトウェアシステムを開発する。

このため、本研究プロジェクトでは、1997年度には、人間の活動を情報通信機能を利用して強化する拡張現実空間を構築するために必要な、概念、機能、相互作用、インタフェース技術を定式化し、そのソフトウェアを開発するため、

- 1) 拡張現実空間概念の形式化、
- 2) 拡張現実空間におけるエージェント機能の形式化と機能設計、

の2項目の基本設計が完了した。

この研究の成果に基づいて1998年度は、主として、以下の2項目に関する研究を行った。

- (1) 拡張現実空間における人間およびエージェントのための協調プロトコルの設計

拡張現実空間は、現実世界、エージェント空間および拡張現実空間インタフェースから構成される仮想的空間モデルである。エージェント空間とは、分散環境に構成されるエージェントプログラム（AP）および、人間とエージェントが利用する情報資源であるオブジェクトプログラム（OP）より構成される。エージェントは、人間の拡張現実空間における様々な活動（たとえばオフィス業務）を支援するため、人間とエージェントの相互作用（HAI）およびエージェント同士の相互作用（AAI）を行う。この相互作用を実現するために、エージェント間協調プロトコル（AAP）および人間・エージェント間協調プロトコル（HAP）を設計した。

- (1-a) エージェント間協調プロトコル（AAP）の設計
前年度に設計されたエージェント空間を構成するエージェントの集団は、人間あるいは他のエージェントによって与えられた情報処理要求を実現

するために、適切な協同作業を行う組織を形成し、その組織の中で、協調、交渉などの様々な相互作用を行う。このために、本年度は、次のエージェント間プロトコルを設計した。

- 1) 組織構成プロトコル
- 2) 組織再構成プロトコル
- 3) 要求伝達プロトコル
- 4) 情報要求・提示プロトコル
- 5) 交渉プロトコル

これらのメッセージ形式は、現在エージェント間通信言語として広く利用されているKQMLを含む形式で定義されている。

(1-b) 人間・エージェント間協調プロトコルの設計

利用者要求を理解し、それを実現するために、利用者要求をエージェント空間に伝達するためのエージェントをインターフェースエージェントと呼ぶ。インターフェースエージェントは、利用者要求を獲得するために、利用者との相互作用のモデルHAIに基づいて、利用者との対話を行う。この対話規約を人間-エージェント間協調プロトコルHAPと呼ぶ。本年度は、対話の形式モデル、対話の内容を定義する語彙（オントロジー）の定義を行った。

(2) 拡張現実空間インターフェースの設計

拡張現実空間インターフェースは、エージェント空間における、エージェントやオブジェクト（情報資源）の論理機能を視覚化し、利用者のサイバー社会に対する親和性を高める役割を果たす。エージェントや、協同作業を行う他の人間は、アバターとして利用者から識別される。エージェント空間における処理の進行状態や、協同作業をしている他の人間の状態や要求は、アバターの動作・状態として利用者に伝達される。

(2-a) 各利用者が共有する拡張現実空間の視覚モデルの設計

拡張現実空間の視覚モデルを定式化するために、本年度はオフィス業務を支援するためのサイバーオフィスの拡張現実空間インターフェースの設計を行った。物理的空間に分散する利用者の、論理的協調場をオフィスメタファで視覚化し、前項の協調プロトコルに基づく作業の推移をアバターの動作および、オブジェクトの変化により表示するインターフェースの試作を行った。

(2-b) 人間・エージェント間の対話方式の設計

インターフェースエージェントが利用者の要求を獲得するための人間・エージェント間協調プロトコルに基づいて、ダイアログボックスの形式、制御手順、記述内容の処理アルゴリズムを設計し、試作システムを作成した。

[3] 研究会活動

[第1回研究会]

場所：東北大学電気通信研究所

日時：平成10年7月22日（水曜日）

- (1) 平成9年度の研究成果の総括
菅原研次（千葉工業大学工学部）
- (2) 平成10年度の研究計画について
全員討議
- (3) 人間とエージェントの協調を支援する拡張現実空間のためのエージェント開発について
菅原研次，藤田茂（千葉工業大学工学部）
- (4) 人間とエージェントの協調を支援する拡張現実空間の概念の定式化
服部文夫，吉田仙（NTTコミュニケーション科学研究所）
- (5) 人間とエージェントの協調を支援する拡張現実空間の協調プロトコルについて
木下哲男（東北大学大学院情報科学研究科）

[第2回研究会]

場所：東北大学電気通信研究所

日時：平成10年12月26日（土曜日）

- (1) やわらかいネットワークと拡張現実空間
白鳥則郎（東北大学電気通信研究所）
- (2) エージェントを利用した拡張現実空間の構成法
菅原研次（千葉工業大学工学部）
- (3) 拡張現実空間における協調作業支援
岡田謙一（慶応大学工学部）
- (4) コミュニティと拡張現実空間
石田 亨（京都大学大学院情報学研究科）
- (5) モバイルコンピューティングと拡張現実空間
水野忠則，渡辺尚（静岡大学情報学部）
- (6) 無線ネットワークと拡張現実空間
相田 仁（東京大学大学院工学系研究科）

[第3回小研究会]

場所：東北大学電気通信研究所

日時：平成10年11月7日（土曜日）

- (1) 拡張現実空間における人間およびエージェントのための協調プロトコルの設計
木下哲男（東北大学大学院情報科学研究科）
- (2) 拡張現実空間インターフェースの設計
菅原研次（千葉工業大学工学部）
- (4) エージェント間協調プロトコル(AAP)の設計
藤田茂（千葉工業大学工学部）
- (5) エージェント開発支援方式について
原 英樹（千葉工業大学工学部）

[4] 主な研究発表

1. 原英樹, 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, “ADIPSフレームワークのための知識記述支援ツール”, 情報処理学会論文誌, vol.39, no.11, pp.3142-3145(1998)
2. Shigeru Fujita, Hideki Hara, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, “Agent-based Design Model of Adaptive Distributed Systems”, The International Journal of Artificial Intelligence, Neural Networks, and Complex Problem-Solving Technologies, vol.9, No.1, pp.57-70, July/August (1998)
3. 原英樹, 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, “計算機プロセスのエージェント化のための知識記述方式”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J-81-D1, no.5, pp.566-573(1998)
4. 藤田茂, 原英樹, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, “エージェント指向分散システムADIPSのための組織構成エージェントの領域知識記述形式”, 情報処理学会論文誌, vol.39, no.2, pp.188-198 (1998)
5. Tetsuo Kinoshita, Kenji Sugawara, “ADIPS Framework for Flexible Distributed System,” Proc. of PRIMA98, Singapore, Nov., (1988)
6. Shigeru Fujita, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, “ADIPS Framework and Its Application to Symbiotic Space on Network Environment”, 1998 International Conference on Parallel Processing Workshop, pp. 86 - 94, Minneapolis, Aug., (1998)
7. Shigeru Fujita, Hideki Hara, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, “Agent-based Support for Reusing Components in Library,” Proc. 3rd Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering, pp.39-42, Smolenice, Slovakia, Sept., (1998)
8. 原英樹, 高橋誠康, 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, “設計知識の獲得と再利用の支援のためのエージェント指向分散システム開発環境について”, 電子情報通信学会 信学技報KBSE98-11, pp.9-16(1998)
9. 今野将, 原英樹, 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, “人間-エージェント共生空間の試作”, 情報処理学会 情処研報 マルチメディア通信と分散処理89-1, pp.1-6(1998)
10. 分根享, 原英樹, 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, “プロダクションモデルを利用したADIPSエージェント記述言語の拡張”, 電子情報通信学会 信学技報OFS98-13, AI98-22, pp.9-14 (1998)
11. 高橋誠康, 藤田茂, 原英樹, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, “エージェント指向分散システム開発支援環境の設計”, 電子情報通信学会 信学技報AI98-2, pp.9-14(1998)
12. 吉野孝, 井上穰, 由井園隆也, 宗森純, 伊藤士郎, 長澤庸二, “インターネットを介したパーソナルコンピュータによる遠隔授業支援システムの開発と適用”, 情報処理学会論文誌, vol.39, no.10, pp.2788-2801(1998)
13. Takashi Yoshino, Jun Munemori and Yoji Nagasawa, “Development of a Multi-User Electronic Conference System DEMPO III for Supporting New Idea”, Proc. 3rd Asia Pacific Computer Human Interaction (APACHI '98), pp.95-100(1998)
14. X. Mao, Y. Hatanaka, H. Higashida and A. Imamiya: “Image-Guided Streamline Placement on Curvilinear Grid Surfaces”, Proceedings of IEEE Visualization '98, North Carolina, pp. 135-142 (1998)
15. Jun Sato, Yukiharu Kohsaka, Koji Hashimoto, Yoshitaka Shibata and Norio Shiratori, “Compressed Video Transmission Protocol Considering Dynamic QoS Control”, Proc. the 1998 ICPP Workshop on Architectural and OS support for Flexible Communication Systems, pp.95-104(1998)
16. Tetsuo Kanazuka, Hiroaki Higaki and Makoto Takizawa, “Flexible Distributed System for Multimedia Applications”, Proc. 1998 International Conference on Parallel and Distributed Systems, pp.324-331(1998)
17. Goutam Chakraborty, Chotipat Pornavalai, Debasish Chakraborty and Norio Shiratori, “Routing In Multimedia Communication”, Proc. International Conference on Computers and Devices for Communication (CODEC-98), pp.245-250 (1998)

課題番号 H9/A-9

ミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発

1. 研究会の設置目的

ミリ波・サブミリ波を用いた計測技術は、この波長領域特有の各種応用分野を持っている。この領域の電磁波は、雲、霧あるいは炎などの条件下において可視光に比べて格段に大気透過性が高い。また、核融合を目指して研究が行われている高密度プラズマの解析に対してミリ波、サブミリ波を用いた各種計測は非常に有効である。この波長領域の技術は、将来の高密度通信に対して非常に重要なものであるが、その研究開発は、計測分野に於いての応用が先行して行われて行くと考えられる。

さて、文部省核融合科学研究所の土岐市ヘリカル装置 LHD では、従来に比してより高密度のプラズマの発生が期待されそれを測定するためのサブミリ波計測システムの開発が必要になってきている。一方筑波大学では、プラズマ密度の時間変化、揺動などを2次元で計測する研究を行っているが、より高精度のミリ波帯2次元イメージングシステムの開発が重要な課題となっている。更に、地球環境計測の分野では、オゾン層破壊の機構解明のためにサブミリ波を用いた中間生成ガス分子の観測が不可欠である。

本共同プロジェクト研究は、これらミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発を目指し、この分野の各種技術の調査・評価、更にミリ波帯2次元イメージングシステム、及び4 THz サブミリ波検出用ショットキ・ダイオードの開発を行うこと等を目的としたものである。なお、本研究の研究所世話分野は、テラヘルツ工学研究分野である。

研究費：(校費) 1,138千円
(旅費) 1,508千円

2. 組織

企画者：岡島 茂樹 (中部大学工学部)

通研対応教官：水野 皓司

共同研究者：

犬竹 正明 (東北大学工学部)

安井 孝成 (理化学研究所)

川端 一男 (核融合科学研究所)

長山 好夫 ()

田中 謙治 (核融合科学研究所)

益田 光治 (九州大学総合理工学研究科)

林 理三雄 (鹿児島大学工学部)

安田 茂 ()

間瀬 淳 (筑波大学プラズマ研究センター)

能勢 敏明 (秋田大学鉱山学部)

奥山 澄雄 (山形大学工学部)

稲谷 順司 (宇宙開発事業団)

野口 卓 (国立天文台野辺山電波観測所)

小平 眞次 (木更津工業高等専門学校)

藤田 順治 (大同工業大学)

赤池 正巳 (東京理科大学工学部)

藤井 研一 (大阪大学理工学部)

増子 治信 (通信総合研究所)

松井 敏明 ()

清川 雅博 ()

阪井 清美 ()

黒澤 富蔵 (工業技術院計量研究所)

斉藤 修二 (岡崎・分子科学研究所)

前川 孝 (京都大学エネルギー工学研究科)

堤 誠 (京都工芸繊維大学)

浅田 雅洋 (東京工業大学)

野木 茂次 (岡山大学)

川崎 繁男 (東海大学)

板野 斎 (山梨大学)

高橋 信行 (滋賀県立大学)

北野 正雄 (京都大学)

橋本 修 (青山学院大学)

小宮山牧兒 (ATR環境適応通信研究所)

3. 研究会開催

本共同プロジェクト研究では、システム、デバイスの開発研究と平行して、ミリ波・サブミリ波帯デバイスの要素技術、各種イメージング用技術、さらにイメージングシステムの応用分野など、多方面の分野について調査し議論を行うための研究会を企画・実施した。以下、本年度開催の研究会について述べる。

3-1 第1回研究会 1998年5月22日

「High Frequency Receivers for Passive Remote Sensing and Imaging」

Dr. Olga Boric Lubecke (PDC, RIKEN, JAPAN.)

3-2 第2回研究会 1998年5月29日

「Micromachining for Thz Applications」

Dr. Victor Manuel Lubecke (PDC, RIKEN, JAPAN.)

3-3 第3回研究会 1998年8月25日

1) 小川 博世 (郵政省通信総合研究所)

「光キャリアを用いるマイクロ波～ミリ波信号処理の可能性について」

2) 中嶋 信生 (NTT移動通信網)

「マイクロ波帯移動通信高速無線伝送の課題と適用技術」

3) 二川 佳央 (防衛大学校)

「歯牙の診断・治療に対する新しいミリ波応用技術」

4) 荻戸 立夫 (理化学研究所フォトダイナミクス研究センター)

「ミリ波帯近接場顕微鏡」

5) 安井 孝成 (理化学研究所フォトダイナミクス研究センター)

「サブミリ波帯ショットキバリアダイオードの開発と低損傷GaAsサブミクロンプロセス」

3-4 第4回研究会 1998年10月14日

「Heterodyne Instrument for FIRST(0.5 ~ 2.5THz) instrument」

Mattheus de GRAAUW, (Heterodym Instrument for FIRST=FAR Infra Red Space Telescope, Neth.)

3-5 第5回研究会 1998年10月21日

「デジタル (マルチメディア) 移動体通信の将来動向」

吉田 進 (京都大学大学院情報学研究科)

3-6 第6回研究会 1998年11月30日

「ミリ波技術、プラズマ物理学に関する研究開発」

Neville C. Luhman, Jr. (UC Davis, USA.)

3-7 第7回研究会 1998年12月11日

「テラヘルツ帯へのマイクロマシニングの応用」

Dr. Victor Manuel Lubecke (Bell Labs, Lucent Technologies, USA.)

3-8 第8回研究会 1998年12月14日

「High Frequency Receivers for Passive Remote

Sensing and Imaging」

Dr. Olga Boric-Lubecke (Bell Labs, Lucent Technologies, USA.)

3-9 第9回研究会 1998年12月21日、22日

「ミリ波・サブミリ波計測システムの開発」

1. 岡島 茂樹 中部大学工学部

「計測用サブミリ波レーザーの開発の現状と今後の展望」

2. 川端 一男 文部省核融合科学研究所

「大型ヘリカル装置におけるミリ波／サブミリ波計測」

3. 渡部 謙一 郵政省通信総合研究所

「ミリ波・サブミリ波帯イメージング装置の開発」

4. 関本裕太郎 東京大学 理学研究科

「富士山頂サブミリ波望遠鏡プロジェクト」

5. 尾関 博之 分子科学研究所

「サブミリ波実験室分光」

6. 藤井 研一 大阪大学理学研究科

「ドット配列構造における光励起ポテンシャル変調」

7. 服部 誠 東北大学大学院工学研究科

「宇宙マイクロ波背景放射温度揺らぎ観測計画」

8. 野口 卓 国立天文台野辺山電波観測所

「超広帯域並列多接合型サブミリ波帯SISミキサに関する研究」

9. 安井 孝成 理化学研究所

「低雑音ショットキ・バリア・ダイオードの研究」

10. 小宮山牧兒 ATR環境適応通信研究所

「ATRにおける光信号処理アレーアンテナの研究開発」

11. 福士研司、服部邦彦、安藤 晃、犬竹正明

東北大学大学院工学研究科

「HITOPにおけるマイクロ波反射計測」

12. 間瀬 淳 筑波大学プラズマ研究センター

「ガンマ10におけるミリ波反射計・イメージング計測」

13. 藤井 哲 東北大学電気通信研究所

「準光学的共振器を用いた電力合成型固体発振器の開発」

14. 石原 裕行 鹿児島大学工学部

「球面反射鏡を用いたミリ波電力合成」

15. 佐々木剛 鹿児島大学工学部

「IMPATT発振器の高出力化の検討」

16. 向田 善博 鹿児島大学工学部

「IMPATT発振器の高効率通倍同期方式」

17. 大津 元一 東工大大学院

「近接場光学計測システムと原子操作への展開」

18. 堀 裕和 山梨大学工学部
「物質表面の偏極場の性質とその観測」
19. 小林 潔 科学技術振興事業団
「光近接場の量子論的アプローチ」
20. 板野 斎 山梨大学工学部
「電磁氣的近接場における古典論と量子論」
21. 石川 亮 東北大電気通信研究所
「光近接場による電子エネルギーの変調」
22. 腰原 伸也 東工大理工学研究科
「紫外近接場によるポリシランナノ構造の観測」
23. 北野 正雄 京都大学工学研究科
「マイクロ波による近接場顕微鏡のシミュレーション」
24. 井上 康志 大阪大学工学研究科
「赤外ニアフィールドスペクトロスコピー」
25. 荻戸 立夫 理化学研究所
「スリット型プローブを用いたミリ波帯近接場顕微鏡の開発と応用」

4. ミリ波帯イメージングシステムの開発

ミリ波伝搬の特異性を利用したミリ波帯イメージングは、雲、霧を通してのイメージング、あるいは半導体内のキャリアの検出など多くの重要な応用分野を有している。

本共同研究では、第1に、実用的なプラズマ計測装置を開発するために、ミリ波帯の2次元アクティブ・イメージング技術のために、主としてその光学系の設計、製作を行った。この成果を筑波大学のプラズマ装置（GAMMA 10）の70 GHz帯2次元イメージング用光学系の設計に適用し、実際に光学系を組み上げ、プラズマ放電の1ショット内での2次元プラズマ密度分布の時間変化を得ることに成功した。この結果は、ミリ波帯イメージング技術がプラズマ計測に極めて有用であることを示したものである。

更に、回折限界の制限を受けないミリ波イメージングシステムとして、新型の近接場顕微鏡を開発した。本顕微鏡の特徴はそのプローブとしてスリット型のものを用いていることで、信号強度及び信号電界の方向を規制出来る点などで特徴を有する。

本プロジェクトの研究会で、光領域の近接場顕微鏡のグループと議論する機会を持つことが出来、応用分野等についての大きな進展を得た。

5. ショットキ・ダイオードの研究・開発

常温動作、高速応答を有するテラヘルツ帯の検出器 / ミキサとして、ショットキ・ダイオードは

唯一のものである。この共同研究では、プラズマ計測用および地球環境計測用のショットキ・ダイオードの開発研究を行った。核融合研究用プラズマの密度の上昇に伴って、計測用テラヘルツ波の周波数は益々高くなり、4 THz が現在のターゲットである。本年度の研究では、この周波数で動作するダイオードを設計、製作するための指針について議論、研究を行った。その結果、直径が0.2ミクロン以下のダイオードの製作が必要であり、その製作プロセス技術には細心の制御性が必要であることが明らかになった。本研究の世話部門（テラヘルツ工学研究分野）では、微細直径をドライエッチングで精度良く製作するため、Q-massを導入してその条件出しを行っているが、現在エンドポイント検出に有用と思われるスピーシの特定を行っているところである。

また、サブミリ波・テラヘルツ波用の検出器、ハーモニク・ミクサーとして国内外の研究機関への供給を依頼に応じて行っている。

6. まとめ

本共同プロジェクト研究では、研究会を開催してミリ波、サブミリ波の各種技術について調査、議論すること及びミリ波イメージング技術またサブミリ波、テラヘルツ帯ショットキ・ダイオードを実際に製作・開発していくことを目的に行われ、ほぼその目的を達成することが出来た。

特に、研究会にて光領域の近接場顕微鏡を開発しているグループと密な議論が出来たのは、その後の本研究の発展に大きく役立った。なお、研究会の最後のまとめで、本研究プロジェクトが多方面にも貢献していることが認識され、今後も継続のための申請を行っていくことが確認された。

課題番号 H 9 / A - 3

超大容量垂直スピニックストレージシステムの研究

[1] 組織

代表者：中村 慶久（東北大通研）

責任者：中村 慶久（東北大通研）

分担者：

杉田 恒（東北大通研）
 大沢 寿（愛媛大工学部）
 岡本 好弘（愛媛大工学部）
 山本 節夫（山口大工学部）
 工藤 純一（東北大大計センター）
 村岡 裕明（東北大通研）
 大内 一弘（秋田高技研）
 本多 直樹（秋田高技研）
 山川 清志（秋田高技研）
 大島 英男（NHK技研）
 沼澤 潤二（NHK技研）
 西原 敏和（日本ビクター中研）
 岡崎 裕（ソニー中研）
 園部 義明（日本アイ・ビー・エム東京基礎研）
 松崎 幹男（TDK記録デバイス（事））
 高野 研一（TDK記録デバイス（事））
 田上 勝通（日本電気機能エレ研）
 二本 正昭（日立中研）
 梅本 益雄（日立中研）
 押木 満雅（富士通研ペリフェラルシステム研）
 泉 幸雄（三菱電機情報技術総研）

研究費： 校費900千円、旅費1,274千円

[2] 研究経過

本研究は本所提案の高密度垂直磁気記録方式を中心に、このためのデバイス・磁性薄膜物性や高密度信号処理方式、並びに大容量ストレージシステムの研究を分担して進めた。ストレージ技術は年率60%の急速な進歩を遂げている。この最先端を切り開くためにはデバイスとシステムの有機的な連携が重要であり、上記の研究分担者が互いに十分に議論を尽くして背景を共有した研究を進めた。特に、本年度の研究課題は、高密度垂直磁気記録のための課題について集中的な研究を進めるために、実務者を集めた具体的な研究を行った。

○研究成果

1. 薄膜励磁型単磁極ヘッドとそれによるシステム性能の評価

昨年度に实际的な浮上スライダに実装した高分解能単磁極ヘッドの試作を完了している。本年度はこの試作を引き続いて行い、デバイスとしての再現性を確認するとともに完成度の向上を目指した。今年度は、本記録ヘッドを二層膜型の垂直磁気記録ディスクと組み合わせてエラーレート特性までの総合的なシステム性能を確認した。

特にデジタル復調特性を調べるためには、信号処理方式の検討・実装が不可欠である。垂直磁気記録の再生パルスは従来方式での単峰性の再生パルスとは異なる矩形波状の再生パルスであるので、これに適する新たな信号処理方式を研究開発する必要がある。微分型等化器を用いる波形変換を行い、パーシャルレスポンス方式と最尤復号方式に組み合わせた。この結果デジタル復調が可能でありエラーレート特性を評価できる段階に達していることが明らかになった。これはデバイスと方式の完成度が一定のレベルに達している証左である。しかも、微分等化器を通した垂直波形は従来の記録方式に比べて格段にパルス幅が狭い130nm程度の高い分解能を有すること、エラーレートは300kFRPIを超える高い記録密度まで 10^{-6} 程度の十分な誤り率を示すこと、などが明らかになった。これまで垂直磁気記録方式に関する研究は、基礎的あるいはデバイスの検討に終わっていたが、本成果はストレージシステム性能としての有効性の証左である。今後、後述する信号処理方式の研究を通じてさらなる実験の高度化を図る予定である。

2. 垂直磁気記録媒体の高性能化の研究

まず極めて高い垂直磁気記録性を有するFe-Pt系の記録媒体で垂直異方性を持たせることに成功し、その試作を行い基礎的な記録再生特性の測定を終えた。本媒体は 10^8 erg/cc にも達する高い磁気異方性を特長としており、記録限界となる熱緩和耐性が高い。しかしながら、その発現には結晶構造を規則化して整える必要がある。今回は適切な下地層を選んで製膜温度を制御することで良好な

垂直異方性が現れることが分かった。また、ヒステリシスループの角形比は反磁界補正のない状態でもほぼ1に出来た。本媒体は膜を構成する磁性粒子間に比較的強い交換磁気相互作用が働いている。通常は交換結合は大きな転移性の媒体ノイズを引き起こすことが知られている。ところが、本媒体のノイズは比較的小さく、優れた記録特性を示している。これはノイズの起源となる磁壁の揺らぎを抑えるピンニングサイトが密に分布したためと推察される。

交換結合作用については、上記の実験的な事実だけでなくコンピュータシミュレーションによる検討も行っており、静磁気相互作用とバランスして ΔM プロットが平坦になる状態が最も良い信号SN比が得られることも明らかにしている。

また、従来型のCoCr系の二層膜媒体の研究においても、Ti膜を軟磁性裏打ち層と記録層の間に挿入することで記録層の結晶配向を改善できることを見出した。この結果、記録層保磁力の増大が実現され、二層膜媒体記録層の微細構造制御法として有効なことを示した。

3. 狭トラック垂直磁気記録の検討

垂直磁気記録の重要な特長の一つに高分解能ヘッド磁界分布と高密度時の低反磁界性がある。これは、面記録密度の向上に直接寄与する狭トラック化にも有利な性質であり、300nm程度と言われる将来の狭トラック幅の実現が期待できる。

本プロジェクトでは、単磁極ヘッドを用いて二層膜型の垂直磁気記録媒体にサブミクロン幅の狭トラック記録を試み、その記録磁化分布を磁気力顕微鏡(MFM)で詳細に観測した。その結果、300nm程度の狭いトラック幅が実際に記録されていることが明らかになった。さらにこの記録磁化状態は単磁極ヘッド主磁極の飽和磁束密度が高いほどMFM像のコントラストが明確であることも確認されているので、15kG以上の高飽和磁束密度主磁極の導入が期待される。

一方、ヘッド走行方向の磁化分布の詳細な観測の結果、記録磁化がトラック端で尾を引く現象が確認されている。これはすでに確認されているビット間の非線形干渉を拡大して解釈することで理解される現象であることも明らかにされた。今後、この現象を抑圧する方策を考える必要がある。

4. 垂直磁気記録用信号処理方式の研究

垂直磁気記録のMRヘッド再生波形は記録磁化分布に対応したものとなるため、矩形波状の再生パルスになる。これは、孤立磁化転移に対して単

峰性パルス为前提とする従来の磁気記録系信号処理系には不適當であり、新規の信号処理方式が必要である。この矩形波状パルスに対応したパーシャルレスポンス最尤復号(PRML)方式として正係数方式を昨年度中に提案している。今年度は符号化の検討も含めて、より詳細に従来の負係数方式との比較を行った。その結果、新たに提案した正係数方式は、再生パルスを等化する際のノイズ強調が現在垂直磁気記録の実験に使われている負係数方式に比べて小さく高SN比化しやすいこと、正係数方式は最尤復号時の正しく復号した系列と誤り系列との距離が大きく出来、復号時の利得も大きくなることが示された。この結果、 10^{-4} の誤り率を与える所要SN比は4.9~6.2dB小さくとも良いとの結果を得た。さらにこの結果を、規格化記録密度 K_p (パルス幅で規格化した記録密度)に対する所要SN比の関係で調べたところ、ヘッドディスク系のSN比が一定の条件では、現在の負係数方式を用いた場合よりも規格化記録密度を大きくでき、現状ではパルス幅の約1/1.6のビット長までの復調が可能であるのに対して、1/2.3程度まで短ビット長化できることが予測された。

○まとめ

本プロジェクトは、デバイスとシステムを総合的に捉えて高密度垂直磁気記録の検討を行っており、今年度も多くの提案と実験結果が得られた。垂直磁気記録の今日的な課題は、既存の長手記録方式の限界を迎える高密度記録を具体的に示すことである。この目標に対して本プロジェクトでは、今年度、エラーレート特性という実的な評価尺度での実験結果を提示でき、ヘッドの外部磁界に対するロバストネスなどの実用面での検討も進んでいる。これらの成果から平成10年度は上記の課題に対して第一段階での結論を得たものと考えており、平成11年度は垂直磁気記録方式のプロトタイピングの準備を開始する予定である。

なお、本プロジェクトの成果は平成11年度日本学術振興会「未来開拓学術研究推進事業」に採択される予定である。

[3] 研究会報告

参加研究者の研究分担を、信号処理系の方式研究の二つに大きく分けて検討を行った。研究集会は計7回を開催して成果を持ちより議論を重ねてきた。開催日程は以下の通りである。

全体会議：

5月29日(金)、7月24日(金)、10月6日(火)、
12月22日(火)~23日(水)、3月11日(木)

個別会議：

システム分科会：7月6日(月)、10月7日(水)

[4] 主な研究発表

- (1)佐々木保,村岡裕明,中村慶久,“二層膜媒体を用いた垂直磁気記録における媒体厚みの影響”,日本応用磁気学会誌, 22, pp.237-240(1998)
- (2)佐藤一樹,村岡裕明,中村慶久,片倉亨,佐藤仁, 矢沢健児,“薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドの試作とその記録特性”,日本応用磁気学会誌,22, pp.273-276(1998).
- (3)H.Muraoka, K. Sato and Y. Nakamura, “Extremely Low Inductance Thin-Film Single-Pole Head on Flying Slider”, IEEE Trans. Magn., 34, pp.1474-1476(1998)
- (4)山田洋,村岡裕明,杉田愼,中村慶久,“薄膜導体励磁型単磁極浮上ヘッドのオフトラックオーバーライト特性”,日本応用磁気学会誌, 22, pp.293-296(1998)
- (5)村岡裕明,三浦健司,杉田 愼,中村慶久,“単磁極記録ヘッド・微分型波形変換による二層膜垂直磁気記録のデジタル特性評価”,日本応用磁気学会誌, 22, Supple.S3, pp.47-52(1998)
- (6)村岡裕明, 中村慶久,“垂直磁気記録における非線形転移点シフトの記録密度依存性”,映像情報メディア学会誌, 52, pp.1480-1484(1998)
- (7)H. Yamada, H. Muraoka, Y. Sugita, Y.Nakamura, “Off-Track Performance of Thin Film Single Pole Head for Perpendicular Double-layered Media”, IEEE Trans.Magn,34,pp.1468-1470(1998)
- (8)S.J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, “Interlayer Coupling and Size Effects in Spin-Valve Films”, J. Magn. Soc. Jpn, 22, pp.517-520(1998)
- (9)姜文紅,村岡裕明,杉田愼,中村慶久,“垂直二層膜媒体における再生減磁に対する単磁極ヘッドの影響”,日本応用磁気学会誌, 22, pp.277-280(1998)
- (10)W.H. Jiang, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, “Thermal Relaxation in Perpendicular Double-Layered Media”, IEEE Trans. Magn., 34, pp.1645-1647(1998)

課題番号 H-9/A-4

微小電子源の物理と電子ビーム応用

〔1〕組織

企画者：横尾 邦義（東北大学電気通信研究所）
 責任者：横尾 邦義（東北大学電気通信研究所）
 分担者：庭野 道夫（東北大学電気通信研究所）
 石塚 浩（福岡工業大学工学部）
 川崎 温（埼玉大学理学部）
 西川 治（金沢工業大学工学部）
 山本 恵彦（筑波大学物理工学系）
 石川 順三（京都大学工学部）
 高井 幹夫（大阪大学極限科学研究センター）
 浅野 種正（九州工業大学マイクロ化総合技術センター）
 安達 洋（室蘭工業大学工学部）
 中根 英章（室蘭工業大学工学部）
 下山 宏（名城大学理工学部）
 岡野 達雄（東京大学生産技術研究所）
 伊藤 順司（電子技術総合研究所）
 江上 典文（ATR環境適応通信研究所）
 山口 豪（静岡大学工学部）
 杉野 隆（大阪大学工学部）
 萩田 正巳（静岡大学工学部）
 畑中 義式（静岡大学電子デバイス研）
 中西洋一郎（静岡大学工学部）
 越田 信義（東京農工大学工学部）
 石沢 芳夫（いわき明星大学理工学部）
 大島 忠平（早稲田大学理工学部）
 渡辺 一之（東京理科大学理工学部）
 小林 功佳（お茶の水大学理学部）
 富取 正彦（北陸先端科学技術大学院大学）
 三村 秀典（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 96.3万円，旅費 167.5万円

〔2〕研究経過

本研究プロジェクトは、微小電子源の高性能及び高機能化を目的に研究を行っている。両者は相互に拘わっているが、前者の研究は、主として、微小冷陰極の電子放射機構の解明と放射電子の高輝度、低エネルギー分散化を目的としたものである。後者は、高周波数デバイスへの応用を目的にマイクロ波帯からテラヘルツ帯の周波数帯域での変調電子ビームの発生法に関するものである。

本年度の研究内容は下記の通りである。

(1)化合物半導体共鳴トンネル陰極の開発

放射電子エネルギーの単色化や低エミッタンス化は、次世代エレクトロニクスを開拓する上で重要な要素である。本研究者は、分子線エピタキシー（MBE）法により、GaAs/AlAs超格子構造からなる共鳴トンネル陰極を製作し、特性評価を行った。GaAs基板側からトンネルした電子は、量子井戸中の量子化準位に一致したとき加速層へ透過し、電界により加速され電極表面まで到達する。このとき、電極材料であるn-GaAsの電子親和力（4.07eV）以上のエネルギーをもつ電子は、エネルギー障壁を越えて真空中に放出される。実験では、ダイオード電流特性に共鳴トンネル効果に伴う負性抵抗性が観測される電圧近傍で、ステップ状とインパルス状の電子放射が観測された。放射電流の立ち上がり電圧が、ダイオード電流に負性抵抗の現れる電圧と一致することから、共鳴トンネル効果を反映した電子放射と考えられる。今後、放射電子のエネルギー分布の計測を行う予定である。

(2)DLCコートによる電界放射陰極の表面改質

放射電子電流の増大には、低仕事関数材料のコーティング等による表面改質が有効である。近年、ダイヤモンドライクカーボン（DLC）膜のような誘電体膜を電界放射陰極表面にコートすることにより、電子放射のしきい値電圧と実効的な仕事関数が低下することが報告されている。本研究では、コーティングによる先端の形状効果を排除するため、シリコンモールド法を用いてDLCをコートしたpoly-Si電界放射陰極を製作し、誘電体膜のコーティングによる電子放射特性の変化とその機構について考察を行った。電子放射特性において、両者の先端形状の差異は少ないと考えられるにも関わらず、DLCをコートしたFEAのしきい値電圧の著しい低下と放射電流の増加が観測された。Fowler-Nordheim (F-N) プロットの傾きから、DLCをコートしたFEAの実効的な仕事関数を求めると、コートしていないpoly-SiFEAの仕事関数を4.1eVと仮定した場合、その値はコーティングにより

2.97eVに低下することが明らかになった。この実効の仕事関数の低下は、以下のように考察される。電子は2つのポテンシャル障壁をトンネルして真空中に放射されること、また、DLCは非晶質であるため電子の平均自由行程は非常に短く（数Å程度）、DLCにトンネルした電子は、直ちにDLCの伝導帯下端に緩和されることを考慮すると、真空中に放射される電子電流は、DLCをトンネルする電流（ J_b ）と真空障壁をトンネルする電流（ J_c ）のうち小さい方の電流で律則される。従って、最大放射電流は、両者が等しいとき（ $J_b=J_c$ ）に得られることになる。DLCの電子親和力を ϕ_c 、比誘電率を ϵ_b 、poly-SiとDLCの仕事関数差を ϕ_b とすると、最大放射の条件では、 $\epsilon_b \phi_b^{2/3} = \phi_c^{2/3}$ となる。ここで、DLCの比誘電率を4と仮定すると、poly-Siの仕事関数4.1eVに対し、 ϕ_b と ϕ_c はそれぞれ1.16eV、2.94eVと求められる。実験から求められた実効的な仕事関数は2.97eVであることから、実験で用いたDLCの比誘電率は4.26以下であり、その電子親和力は2.97eVと推定することが妥当である。

従って、DLCのような誘電膜のコーティングによる実効的な仕事関数は、誘電膜への電子の注入障壁、誘電膜の比誘電率、誘電膜の電子親和力の三者の相関関係により決定され、これらを設計することで、電界放射陰極の高輝度化が期待される。

(3)微小電子源を用いた変調電子ビーム発生法の提案

FEAを用いた微小三極管集積回路では、入力容量の低減に限界があることと半導体デバイスに比べて相互コンダクタンスを大きくできないことから、動作周波数の上限は10~20GHz程度と考えられる。従って、FEAのマイクロ波、ミリ波およびTHz帯の高周波デバイスへの応用には、従来の開発研究にとらわれない新しい概念に基づくデバイスの展開が必要である。本研究では、高周波トランジスタおよびガン効果素子とFEAの融合による変調電子ビーム発生のための構造を提案した。これらの構造では、エミッタチップをトランジスタのコレクタとして用いることで、FEAの構造物に制約されることなくHBTやHEMTなどマイクロ波帯域で動作するトランジスタを構成できるため、入力信号をトランジスタのベース-エミッタ間に加えることによってこの周波数で変調された集束電子ビームを発生することが可能である。また、フェムト秒光励起および光混合励起によるFEAからのTHz帯変調電子ビーム発生法を提案した。発生した変調電子ビームは、高エネルギーに加速された後、高周波回路中で電子ビームの走行時間を調整することにより、また、周期回路上の電磁

波と相互作用させることで、広帯域にわたり効率よく電磁波を発生することができる。

[3] 研究会活動

研究討論会を下記の通り行った。

第1回 日時：平成10年6月23日(火)

場所：東北大学電気通信研究所中会議室

- (1)西川 治（金沢工業大学工学部）
- (2)森川浩志（名古屋工業大学工学部）
- (3)阪井清美（郵政省通信総合研究所）
- (4)四方潤一（東北大学電気通信研究所）
- (5)川瀬晃道（東北学院大学工学部）
- (6)横尾邦義（東北大学電気通信研究所）

第2回 日時：平成10年11月12日(木)

場所：東北大学電気通信研究所大会議室
（通研講演会との共催）

恩田 昌彦（通産省機械技術研究所）
「成層圏プラットフォーム」

第3回 日時：平成10年11月20日(金)

場所：東北大学電気通信研究所大講義室

- (1)安達 洋（室蘭工業大学工学部）
「電界放射の安定化に向けて
—電界放射陰極表面の観察と分析—」
- (2)石塚 浩（福岡工業大学工学部）
「マイクロビームの計測と応用」
- (3)浅野種正（九工大マイクロ化総合技術センター）
「電子源材料と電子放射特性」
- (4)石川 順三（京都大学工学部）
「電界電子放射の評価法」
- (5)杉野 隆（大阪大学工学部）
「ダイヤモンドからの電子放出」

第4回 日時：平成11年3月4日(木)

場所：東北大学工学部青葉記念会館
（電子情報通信学会電子デバイス研究会との共催）

- (1)伊藤順司（電子技術総合研究所）
「シリコンフィールドエミッタ技術の最近の進展と今後の展望」
- (2)伊藤茂生（双葉電子工業）
「電界放射ディスプレイの開発動向」
- (3)巻島秀男（ATR環境適応通信研究研）
「電界放射冷陰極マイクロ波管の開発」
- (4)横尾邦義（東北大学電気通信研究所）
「真空・固体融合エレクトロニクスの展開」
- (5)北畠 真（松下電器産業）
「ダイヤモンド粒子からのフィールドエミッション」

- (6)浅野種正 (九州工業大学)
「有機物のイオン照射改質によるマイクロコールドエミッタ材料の創製」
- (7)岡野 健 (国際基督教大学)
「ダイヤモンド関連材料からの電子放射と可能性」
- (8)杉野 隆 (大阪大学工学部)
「気相合成ダイヤモンド薄膜のフィールドエミッション特性」

[4] 主な研究発表

- (1)H.Mimura, Y.Abe, J.Ikeda, K.Tahara, Y.Neo, H.Shimawaki and K.Yokoo, "Resonant Fowler-Nordheim tunneling emission from metal-oxide-semiconductor cathodes", J. Vac. Sci. Technol., B16 (2), pp.803-806, 1998.
- (2)J.Ikeda, A.Yamada, K.Okamoto, Y.Abe, K.Tahara, H.Mimura and K.Yokoo, "Tunneling emission from valence band of Si-metal-oxide-semiconductor electron tunneling cathode", J. Vac. Sci. Technol., B 16 (2), pp.818-821, 1998.
- (3)横尾邦義, 池田順司, 田原 薫, 阿部善亮, 三村秀典, "半導体電子源の電界電子放射特性", 真空, 41, pp.428-433, 1998.
- (4)H.Mimura, G.Hashiguchi, M.Okada, T.Matsumoto, M.Tanaka and K.Yokoo, "Enhancement in electron from polycrystalline silicon field emitter arrays coated with diamond-like carbon", J. Appl. Phys., 84, pp.3378-3381, 1998.
- (5)Y. Neo, T. Otoda, H. Mimura and K. Yokoo, "Epitaxial Growth of Aluminum on Silicon Substrates by Metalorganic Molecular Beam Epitaxy using Dimethyl-Ethylamine Alane", Jpn. J. Appl. Phys., 37, 5A, pp.2602-2605, 1998.
- (6)K.Yokoo, N.Kitano, N.Shibuya, H.Shimawaki and H.Mimura, "Basic study of active matrix field emission display", ITG Conference 150, pp.213-218, 1998.
- (7)K.Yokoo, K.Tahara, H.Mimura and J.Ikeda, "Electron Tunneling Emission from a Si-MOS Diode", Extended Abstracts of 2nd Int. Vacuum Elect. Sources Conf., pp.15-16, 1998.
- (8)K.Yokoo and H.Mimura, "Terahertz Modulation in Field Emission by Photomixing of Semiconductor Field Emitter Array", Extended Abstracts of 2nd Int. Vacuum Elect. Sources Conf., pp.225-226, 1998.
- (9)Y. Neo, T. Otoda, H. Mimura and K. Yokoo, "Selective Growth of Single Crystalline Aluminum on Si by Molecular Beam Epitaxy using Dimethyl-Ethylamine Alane", Abstracts of 9th Int. Conf. On Solid Films and Surfaces, O. CH7, 1998.
- (10)H.Mimura, K.Yokoo, G.Hashiguchi, M.Okada, T.Matsumoto and M.Tanaka, "Electron Emission from Polycrystalline Silicon Field Emitter Arrays Coated with a Thin Diamond-like Carbon Layer", Tech. Digest of 11th Int. Vac. Microelectronics Conf., 033, 1998.
- (11) K.Yokoo, "Proposal of THz FEL using a Photomixing Field Emission Cathode", Conf. Digest 23rd Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves, Th 5.6, 1998.

課題番号 H-9/A-5

新圧電単結晶・薄膜の探索と弾性波デバイスの 高度情報通信システムへの応用の研究

〔1〕組織

代表者：山之内和彦（東北大学電気通信研究所）
 分担者：中村 僔良（東北大学大学院工学研究科）
 坪内 和夫（東北大学電気通信研究所）
 櫛引 淳一（東北大学大学院工学研究科）
 長 康雄（東北大学電気通信研究所）
 小柴 正則（北海道大学院工学研究科）
 小池 卓郎（玉川大学工学部）
 児島 俊弘（玉川大学工学部）
 清水 康敬（東京工業大学大学院社会理工学研究科）
 高木堅志郎（東京大学生産技術研究所）
 山口 正恆（千葉大学工学部）
 中川 恭彦（山梨大学工学部）
 皆方 誠（静岡大学電子工学研究所）
 塩寄 忠（京都大学大学院工学研究科）

〔2〕研究経過

本プロジェクト研究は、平成6年度から平成8年度までの実施された共同プロジェクト研究、「フォノン集積デバイス・材料の研究」の研究成果、即ち、超高周波帯の音響波に対するフォノン波動、及び種々の境界条件のもとで伝搬する境界波の線形・非線形挙動の解明、この波動を高度に集積化したデバイス、及びこの境界波と光・電磁波或いは半導体キャリアとの相互作用を用いたデバイスの研究開発の研究成果を基盤として、昨年度から発足した研究プロジェクトである。本研究では、それらの研究成果を発展させるとともに、デバイスの基礎となる大きな電気機械結合係数をもつ新しい圧電単結晶及び圧電体薄膜の研究、原子分子単位で制御された金属電極薄膜及び誘電体薄膜の研究、高周波フォノン波動の発生・検出電極を作製するためのナノメータリソグラフィ及びプロセスの研究・開発を行い、高度情報通信システムへの応用の研究を行っている。

本年度は、以下に示す内容について研究を行った。

- (1)高品質圧電体単結晶・薄膜の作製、及び、それを用いた高性能デバイスの研究（山之内、坪内、中村、児島、中川、山口、小柴、清水、塩寄）

○弾性表面波（SAW）に対する電気機械結合係数 K^2 が53%と、従来最も大きいとされていた LiNbO_3 の約10倍であることから、新しい圧電体材料として注目されている KNbO_3 の単結晶・薄膜の作製とデバイスへの応用の研究を行っている。本年度は、走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）による KNbO_3 の薄膜の分極分布の評価と外部電圧印加による分極操作、及び、 KNbO_3 単結晶の作製を行った。これにより、MOCVDにより作製された KNbO_3 薄膜は、as-grownの状態で基板の上向きに分極がそろっていることがわかった。SNDMによる評価結果を薄膜作製プロセスの条件へフィードバックし、高質の KNbO_3 薄膜作製の研究を引き続き行う予定である。

○高音速SAW材料として、移動体通信への応用が注目されている AlN 圧電薄膜のクヌーセン圧MO-CVD法による高品位形成法の研究と、それを用いた2.4GHzフロントエンドSAWマッチトフィルタの研究を行った。基板材料であるサファイアR面の C' 軸を -4° 傾斜させたオフ基板を用いる方法、或いは、ソースの NH_3 の分解促進によりV/III比を増加させるための高温成長を行うことにより、クラックの生じない AlN エピタキシャル成長が可能となった。これらの薄膜を用いることでSAWマッチトフィルタの伝搬損失を低減する事が可能となった。

○ ZnO 薄膜を用いた、 $\text{ZnO}/\text{Y-X LiNbO}_3$ 構造のSH型SAWによるTE-TMモード変換素子の検討を行った。 Y-X LiNbO_3 基板にはレイリー波の他に電気機械結合係数が25%と大きいSH型の疑似弾性表面波が存在する。それを用いたTE-TMモード変換素子について検討を行った。 ZnO の厚さを 0.09λ （ λ はSAWの波長）にすると、伝搬減衰のないSH型SAWとなり、また、TE-TMモード変換に寄与する変位 B_{23} も表面付近でレイリー波よりも大きいことがわかった。これらの結果から、高効率の光チューナブルフィルタへの応用が期待される。

○薄膜成長中の基板にSAW定在波を励起するSAWアシストにより光弾性定数が約3～6倍に大き

くなることが今までの研究により分かっている。本年度は、 $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2/128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$ 構造の、TE波、TM波の音響偏向素子の研究を行った。TE波の場合は、SAWアシストをしない場合と比較して光弾性効果が6~7倍増加し、TMモードの場合は8.7mWという低パワー駆動の光偏向子を実現することができた。更に、実験結果をもとに光弾性低位数を算出したところ、SAWアシストありの Ta_2O_5 薄膜の p_{11}, p_{12} はSAWなしの場合に比べてそれぞれ1.75倍、1.59倍になっていることがわかった。

○今までの研究で、すだれ状電極（IDT）を直列接続した1ポートSAW共振器の解析を4端子対等価回路を用いて行い、広帯域VCOに適した特性が得られることがわかっている。本年度は、これを6端子ついに拡張し、IDTを直列接続した2ポートSAW共振器型フィルタの解析を行った。これにより、帯域外減衰量を容易に大きくできることがわかった。また、 KNbO_3 などの電気機械結合係数が大きい基板に対しても、設計の自由度が大きいことがわかった。

○シミュレーションツールへの組み込みを目的として、昨年度は、モード結合理論解析に必要なパラメータを $128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$ 基板について導き、共振器構造を実現する金属グレーティングにおけるSAW伝搬特性の電極膜厚依存・幅依存性について調べた。本年度は、急峻な帯域特性を有する小型のSAWフィルタを実現するために、反射器の電極幅を変えて重み付けする方法について検討を行い、モード結合理論により解析し、帯域外減衰量の大きい特性が得られることがわかった。

○有限要素法を用い、弾性的に任意の異方性を有する光導波路の応力解析法を開発してきたが、本年度は、材料の圧電性も考慮した精密な応力解析法と、それにより導かれる屈折率変化を用いて、ひずみ誘起光導波路の伝搬特性を評価した。 X-Y LiNbO_3 基板に導波路部分を除いて応力付与 SiO_2 を被膜した構造の光導波路に対して、及び、グレーティング構造の SiO_2 による導波路の解析を行い、実験結果によく対応した結果が得られ、有効性を確認した。

○ $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 基板は水晶に比べ圧電性が高く、また、零温度特性を有することから最近注目されている。しかし、温度特性は、計算値と実験値のずれが大きいことがわかっている。そこで、SAWの実験から材料定数を数値計算的に算出する方法に

ついて、カット・伝搬方向によりどのくらいの精度で弾性定数を求めることができるか検討を行った。14個のカット・伝搬方向の組み合わせを求め、 C_{66}^E で0.29%、 C_{13}^E で4.6%の誤差になることがわかった。

○ $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 基板上的のストリップ電極によるSAWの反射特性について検討し、電極構造は対象でも基板の異方性から一方向にSAWが励振するNSPUdTカットが存在することが今までの研究でわかっている。本年度は、NSPUdTを用いたSAW共振器、及び共振器型フィルタについて検討を行った。本構造は、片側の共振器長を短くすることができることがわかり、小型化が可能となる。

(2)超音波を用いた弾性波材料の高精度評価、及び液晶性分子薄膜の弾性率計測（櫛引、高木）

○SAWデバイス用基板として広く用いられている LiNbO_3 、 LiTaO_3 単結晶の弾性関連物理定数（弾性定数、圧電定数、誘電率、密度）の全ての独立な成分を、超音波を用いて精密に決定する研究をすすめている。本年度は、直線収束ビーム超音波顕微鏡を用いたSAWデバイス用 LiNbO_3 、 LiTaO_3 基板の評価・選別システムの研究を行った。本システムにより従来法では捉えられなかった、ロット間の微少なばらつきや、結晶内の不均一を検出することが可能となった。

○水面等に展開された分子1層からなる膜（ラングミュア膜）の2次元弾性率の計測を行った。この膜は、分子1個あたりの面積が小さくなると単層膜と3層膜の間で1次の相転移が起きることが報告されている。熱的に励起された表面張力波（リップロン）とレーザー光との相互作用でリップロンのパワースペクトルを計測するリップロン光散乱法を用いて2次元弾性率を評価した結果、単層膜と3層膜の1次相転移を裏付ける結果が得られた。

(3)強誘電体分極の計測と材料評価及び誘電体記録の研究（長、皆方）

○非線形誘電率の分布から強誘電体の残留分極や結晶性を純電氣的に計測可能な、走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）の研究と誘電体記録への展開の研究を行っている。本年度は、プローブの探針と試料の接触状態を制御する接触センシング機構を開発し、これと併せてサブナノメータの分解能を持つステージを組み込むことで、ナノメータ

の分解能で材料の分極分布を計測することが可能となった。本装置を用いてBaTiO₃のa-cドメインやc-cドメインの観測、及びc軸配向のZnO薄膜の分極の正負の面方位の決定を行い、本顕微鏡が誘電・圧電体の材料評価にの有用であることを確認した。

○LiNbO₃, LiTaO₃等の強誘電体結晶の分極反転ドメインの形成と、ドメインを測定するコヒーレント検出法の研究を行っている。コヒーレント検出法は、AFMのカンチレバーと結晶裏面の電極間でAC電圧を印加して圧電振動を発生させ、カンチレバーの振動の位相と振幅を測定することでドメイン反転を検出する方法である。本年度は、LiTaO₃基板に電子ビーム照射で作製した直径1.4μmの分極反転ドメインを、コヒーレント検出法で観測し、エッチングにより得られたドメインパターンと対応した像が得られた。

(4) 静磁波デバイスの研究 (小池)

○YIG薄膜中を伝搬する静磁波ソリトン及び静磁波デバイスの研究を進めている。本年度は、YIG薄膜中を伝搬する前進体積波を用い、静磁波ソリトンの生成条件を長距離伝搬に関連して検討した。その結果、実験的に得られたフィルタ特性と共に詳細に検討して長いYIG薄膜試料では挿入損失の増加によってソリトンの生成条件そのものが変化する可能性が明らかになった。

[3] 研究会活動

研究回を下記のとおり行った。

日時：平成11年2月15日(月)

場所：東北大学電気通信研究所

- (1)「SAW-IDTの直列接続用六端子対等価回路の応用」児島俊弘，小原宏之（玉川大学工学部）
- (2)「NSPUDT基板を用いたSAW共振子フィルタ」竹内正男，鈴木雅紘（玉川大学工学部）
- (3)「ZnO/Y-X LiNbO₃構造のSH型弾性表面波によるTE-TM光モード変換」中村僖良，北爪秀憲，川村佳子（東北大学大学院工学研究科）
- (4)「圧電性を考慮した応力解析法とそのひずみ誘起光導波路解析への応用」小柴正則，斎藤晋聖，辻寧英（北海道大学大学院工学研究科）
- (5)「ナノメータ分極制御とその応用」皆方誠（静岡大学電子工学研究所）
- (6)「最新型高分解能走査型非線形誘電率顕微鏡による分極ドメインの観測」長康雄，松浦かおり，数田聡，山之内和彦（東北大学電気通信研究所）
- (7)「水面における液晶性分子薄膜の2次元弾性率」坂本直人，高木堅志郎（東京大学生産技術研究所）
- (8)「SAWアシストによる光弾性強調現象」中川恭彦，八幡充洋，垣尾省司（山梨大学工学部）
- (9)「直線集束ビーム超音波顕微鏡によるSAWデバイス用LiNbO₃, LiTaO₃単結晶基板の評価・選別」櫛引淳一，大橋雄二，小野雄（東北大学大学院工学研究科）
- (10)「KNbO₃単結晶・薄膜の作製と分極分布の計測及び弾性表面波の送受特性」山之内和彦，長康雄，小田川裕之，我妻康夫（東北大学電気通信研究所）
- (11)「クヌーセン圧MO-CVD法を用いたAlNエピタキシャル成長とSAWデバイス特性」坪内和夫，苫米地秀一，三枝茂人，益一哉（東北大学電気通信研究所）
- (12)「グレーティング反射器の一重み付け法について」大森達也，田島基行，兼田泰文，橋本研也，山口正恆（千葉大学工学部）
- (13)「YIG薄膜中の静磁波ソリトンの生成条件と長距離伝搬」小池卓郎（玉川大学工学部）
- (14)「ランガサイトの弾性定数決定のカット選定に関する検討」室田真男，張漢坤*，清水康敬（東京工業大学大学院社会理工学研究科，*工学部）

課題番号 H-9/A-11

超低消費電力無線通信ハイブリッド ULSIプロセス技術の研究

[1] 組織

代表者：堀池 靖浩（東京大学大学院工学系研究科）
 責任者：坪内 和夫（東北大学電気通信研究所）
 分担者：一木 隆範（東洋大学工学部）
 花尻 達郎（東洋大学工学部）
 目黒多加志（理化学研究所）
 進藤 春雄（東海大学工学部）
 菅井 秀郎（名古屋大学工学部）
 益 一哉（東北大学電気通信研究所）
 横山 道央（東北大学電気通信研究所）
 大見 忠弘（東北大学工学部）
 小谷 光司（東京大学VDEC）
 平山 昌樹（東北大学工学部）

研究費：校費 1,138千円、旅費 264,480円

[2] 研究概要・成果

21世紀の高度情報化社会において、各個人がTele-Padと命名される携帯情報無線端末をもち、「いつでも、どこでも、誰とでも」Tele-Pad相互間あるいは基幹ネットワークに接続されたスーパー・ワークステーションとの間で、音声・データ・画像などの情報を各自が分散交換機能をもってやりとりする姿が、パーソナルC & Cの究極の姿であると考えられる。このTele-Pad実現のためには、周波数としてはベースバンドからGHz・RF帯までのデジタルおよびアナログ信号を処理する「超低消費電力無線通信ハイブリッドULSI」を開発しなければならない。これには、Siデジタル信号処理集積回路、アナログ信号処理回路、弾性表面波RF信号処理機能デバイス、超高安定マイクロオシレータなどがハイブリッド集積化される。これらデバイスプロセス開発の課題として、Si集積回路における高誘電率薄膜、強誘電体薄膜、無機および有機の低誘電率薄膜、高熱伝導度薄膜、弾性表面波(SAW)素子材料として高音速材料など、多くの新機能材料の微細加工技術を確立しなければならない。また、従来のプラズマを利用した加工技術に加え、化学機械研磨(CMP)等の新加工技術を確立する必要がある。本研究の目的は、これら新機能材料の加工技術を確立することである。

具体的には、

- (1) Si集積回路における機能材料として、高誘電率、強誘電体薄膜、無機及び有機の低誘電率薄膜、高熱伝導度薄膜などの微細加工技術としての選択ドライエッチング技術を確立する。
- (2) 高音速弾性表面波素子材料AINについて、特に金属材料との選択加工技術を開発する。
- (3) 平坦化加工技術として、従来のウェットCMP、さらにドライCMPの開発を行う。

これらの研究により、表面での選択性発現の表面反応機構を明確化して、選択微細加工技術を確立する事を目的とする。

本研究では、従来のSi集積回路プロセスにない材料の加工技術を確立するとともに、表面選択反応機構について明らかにする。従来のバイナリデジタル論理集積回路にない機能を持った機能集積回路の開発のためには、必然的にあらたな新機能材料の導入と、これら新機能材料の加工技術の確立が必須である。これらの研究は、機能集積回路プロセスの基盤となると考えている。

本年度は、[1]に示す組織の研究者間で分担し、ハイブリッドULSI開発のための加工技術開発、表面反応機構解明として以下の研究を行った。

加工技術の基礎となるプラズマの生成・測定に関して、大口径プラズマ生成（進藤）、ならびに高密度プラズマと装置内壁との相互作用（一木）について解析し、プロセスプラズマ中の電子密度測定法について検討（菅井）を行った。また、材料表面へのイオン照射効果の検討（目黒）、ならびにイオン照射を利用した低温高品質薄膜形成技術について検討（大海）を行った。加工プロセス技術としては、特に高音速弾性表面波材料である窒化アルミニウム（AIN）薄膜上の電極形成技術に関して、埋め込み金属電極をAIN薄膜中に作り込むためのAl CMP技術の開発とその機構の解明を行った（堀池）。また、デバイス応用では、AIN/Al₂O₃構造を用いたSAWマッチトフィルタの特性向上のため電極のマルチトラック化、ならびにSiO₂積層化の検討を行い、SAW特性の向上を確認した（坪内）。

[3] 研究会活動

研究討論会を1回行なった。

日時：平成11年3月11日

場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

(1) 「AIN基板への埋め込みAl電極のCMP形成とCMP機構研究」

堀池靖浩(東京大学)、押尾英隆、一木隆範(東洋大学)

(2) [特別講演] 「Al-CVD技術およびAl-CMP技術による超LSI多層配線」

江澤弘和(東芝半導体生産技術推進センター)

(3) 「波動を用いたプロセスプラズマの電子密度測定」
中村圭二、菅井秀郎(名古屋大学)

(4) 「大口径マイクロ波酸素プラズマの生成とプロセス応用」

進藤春雄(東海大学)

(5) 「 C_4F_8 高密度プラズマと壁との相互作用」

押尾英隆、一木隆範(東洋大学)、

堀池靖浩(東京大学)

(6) 「フッロカーボン重合膜のXPS計測における帯電効果」
一木隆範、押尾英隆(東洋大学)

堀池靖浩(東京大学)

(7) 「半導体表面への多価イオン照射効果」

目黒多加志、青柳克信(理化学研究所)

(8) 「低エネルギーイオン照射を用いた低温高品質シリコン薄膜形成技術」

進藤亘、鐘傳傑、田中宏明、

大見忠弘(東北大学)

(9) 「低消費電力化、高集積化の為のシリコンデバイス」
花尻達郎、鳥谷部 達、菅野卓雄、(東洋大学)

(10) 「2.4GHzフロントエンドAIN/ Al_2O_3 SAWマッチトフィルタ」

苔米地秀一、三枝茂人、益一哉、

坪内和夫(東北大学)

[4] 主な研究発表

(1) Y. Chinzei, T. Ichiki, N. Ikegami, H. Shindo and Y. Horiike, "Residence Time Effect on SiO_2/Si Selective Etching in High Density Fluorocarbon Plasma," J. Vac. Sci. Technol. B16, 1043-1050(1998).

(2) Y. Chinzei, M. Ogata, T. Sunada, M. Itoh, T. Hayashi, H. Shindo, R. Itatani, T. Ichiki and Y. Horiike, "Development and plasma characteristics measurement of planar type magnetic neutral loop discharge," Jpn. J. Appl. Phys., 37, 4572-4577 (1998).

(3) Y. Chinzei, M. Ogata, J. Takekawa, N. Hirashita, T. Hayashi, H. Shindo, T. Ichiki and Y. Horiike, "Flow rate rule for high aspect ratio SiO_2 hole etching," J. Vac. Sci. Technol., A 16, 1519-1524

(1998).

(4) T. Ichiki, H. Oshio and Y. Horiike, "Charge referencing XPS spectra from fluorocarbon polymer films using fluorine as an internal standard," J. of Surface Analysis, 5, 2, 193-196(1999).

(5) H. Oshio, M. Ogata, T. Ichiki and Y. Horiike, "Evolution effects of reactor inner wall surface on fluorocarbon plasma parameters," Abst. 44th. National Symp. Ame. Vac. Soc., MS-WeM6, (1998), 101.

(6) Y. Chinzei, T. Kikuchi, M. Ozawa, M. Ogata, Y. Feurprier, T. Ichiki and Y. Horiike, "Microloading effect in ultra-fine SiO_2 hole/trench etching," Abst. 44th. National Symp. Ame. Vac. Soc., PS2-TuM2 (1998), 68.

(7) B.-J. Lee, S. Takayanagi, H. Shindo, T. Ichiki and Y. Horiike, "Negative ion etching of metals by employing a magnetic filter in halogen plasmas," 51st Gaseous Electronics Conf./4th Int. Conf. Reactive Plasmas, Hawaii, USA (1998).

(8) T. Ichiki, H. Oshio and Y. Horiike, "Charge referencing of XPS spectra from fluorocarbon polymer films using fluorine as an internal standard," Practical Surf. Anal. 98, Shimane, Japan (1998).

(9) Y. Chinzei, M. Ogata, H. Shindo, T. Ichiki and Y. Horiike, "Residence time controlled high aspect ratio SiO_2 etching," Digest of papers Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf., 184-185 (1997).

(10) Y. Feurprier, M. Ogata, M. Ozawa, T. Kikuchi, Y. Chinzei, H. Shindo, T. Ichiki and Y. Horiike, "High aspect ratio SiO_2 etching employing fluorocarbon substituting gases," Proc. 20th Symp. on Dry Process, Nov.11-13, Tokyo, (1998).

(11) Y. Chinzei, Y. Feurprier, T. Ichiki and Y. Horiike, " O_2 addition effects to C_3F_8 +Trimethylsilane mixture in high aspect ratio SiO_2 etching," Proc. 20th Symp. on Dry Process, Nov.11-13, Tokyo (1998).

(12) S. Tomabechi, S. Kameda, K. Masu and K. Tsubouchi, "2.4GHz front-end multi-track AIN/ α - Al_2O_3 SAW matched filter", 1998 IEEE International Ultrasonic Symposium, Sendai, Oct. 5-8 (1998) p.272-273

(13) K. Tsubouchi and K. Masu, "Wireless Multimedia: SS-CDMA Technology," Proc. of International Symposium on Future of Intellectual Integrated Electronics (March 14-17, 1999, Sendai) p.259-268.

課題番号 H-9/B-2

電磁流体现象の解明とその応用

〔1〕組織

企画者 犬竹 正明 (東北大工学研究科)
 責任者 横尾 邦義 (東北大電気通信研)
 分担者 安藤 晃 (東北大工学研究科)
 服部 邦彦 (東北大工学研究科)
 市村 真 (筑波大プラズマ研)
 間瀬 淳 (筑波大プラズマ研)
 天岸 祥光 (静岡大理学部)
 桂井 誠 (東京大工学部)
 吉田 善章 (東京大工学部)
 荒川 義博 (東京大工学部)
 佐藤浩之助 (九州大応用力学研)
 伊藤 早苗 (九州大応用力学研)
 大澤 幸治 (名古屋大理学部)
 宇山 忠男 (姫路工業大工学部)
 八坂 保能 (京都大工学部)
 曄道 恭 (京都大理学部)
 際本 泰士 (京都大学)
 藤原 正巳 (核融合科学研究所)
 伊藤 公孝 (核融合科学研究所)
 羽鳥 尹承 (核融合科学研究所)
 川端 一男 (核融合科学研究所)
 長山 好夫 (核融合科学研究所)
 佐貫 平二 (核融合科学研究所)

〔2〕研究の概要と成果報告

プラズマと電磁場とが複雑に相互作用を行う電磁流体现象は、宇宙プラズマや核融合プラズマ中で現われる特徴的な現象の一つであり非常に重要な研究テーマの一つとなっている。プラズマ中に起こる電磁流体现象は基礎的現象にもかかわらず、プラズマの自発的構造変化や磁力線の再結合を伴った磁場エネルギーの解放など複雑な現象を伴って起こっている。これらの現象には共通の物理過程が内包されており、総合的に検討することによりプラズマ中の複雑な電磁流体现象の統一的理解を深める必要がある。

この研究会により、宇宙から実験室プラズマまでの広範囲に渡る学問的波及効果が期待され、また、工学的応用としても核融合発電や宇宙電磁推進機などの発展へ寄与する事が挙げられる。本年度は2回の研究会を実施し、各分野からの電磁流

体に関連した種々のテーマでの講演で活発な議論がなされた。

第1回

日時：平成10年12月12日(土)

会場：KKRホテル仙台

(1) 天岸祥光 (静岡大学理学部)

「運動論的アルフェン波の実験的研究」

(2) 遠山潤志 (東京大学理学研究科)

「プラズマ閉じこめ、加熱、加速の実験」

(3) 小森彰夫 (核融合科学研究所)

「LHD初期実験」

第2回

「電磁流体现象研究会－電磁場と流れ場－」

日時：平成11年1月28日(木)～29日(金)

会場：東北大学工学部青葉記念会館401大研修室

および電気情報館 451・453号室

1月28日(木) 13:30～18:30

(1) はじめに 犬竹正明 (東北大・工)

(2) 吉澤 徹 (東大・生産技術研)

「宇宙および核融合プラズマにおける電磁流体现象」

(3) 大澤幸治 (名大・理)

「電磁流体における衝撃波の挙動」

(4) 南 繁行 (大阪市立大・工)

「超音速プラズマ源を用いた宇宙衝撃波現象のシミュレーション実験について」

(5) 草野完也 (広島大・先端物質科学)

「太陽プラズマにおける電磁流体力学現象」

(6) 池畑 隆 (茨城大・工)

「J×B駆動回転プラズマの電磁流体现象」

(7) 田中雅慶 (核融合研)

「回転するプラズマにおけるスパイラル構造の形成」

1月29日(金) 9:00～16:30

(8) 石田昭男 (新潟大・理)

「2磁気流体緩和とシアー流をもつ有限ベータ緩和状態」

(9) 比村治彦 (東大工・システム量子)

「Double curl Beltrami flowと非中性プラズマ実験」

(10) 小野 靖 (東大工・電気)

「プラズマ合体実験における緩和分岐現象とヘリシティ」

- (11) 佐宗章弘 (東北大流体研)
「再突入の流体力学における電離気体現象」
- (12) 篠原俊二郎 (九大・総理工)
「大口径RFプラズマにおける様々な電極による密度と周方向回転の分布変化」
- (13) 今井貴博 (名大・工)
「NAGDIS-IIにおける高周波加熱に伴う動的プラズマ挙動」
- (14) 蒲谷 哲 (横浜国大・工)
「粒子シミュレーションによるプラズマ流測定
の検討」
- (15) 丸山真生 (横浜国大・工)
「不安定直線プラズマの2次元密度分布の時間
変化の観測」
- (16) 永岡賢一 (名大・理)
「方向性プローブを用いたプラズマ流速の測定」
- (17) 堀 史生 (東北大・工)
「HITOPノズル磁場配位における高速プラズマ
流生成」
- (18) 杉村 琢 (東北大・工)
「高速プラズマ流の粒子、分光、マッハプロ
ブ計測」
- (19) おわりに 佐藤徳芳 (東北大・工)

<要旨>

理論およびシミュレーションについて3件の発表があった。吉澤氏(東大)は、電磁流体力学の視点よりクロスヘリシティ(速度と磁場の相関)効果を考慮すると、トカマクの負磁気シア閉じ込めにおける内部輸送障壁の生成と降着円盤ジェットのコリメーションとが極めて類似した物理機構であることを示した。大澤氏(名大)は磁気音波衝撃波によって、超相対論的エネルギーの電子が生成される事を、相対論的電磁粒子シミュレーション(空間1次元、速度3次元)によって示した。石田氏(新潟大)よりFRCのような有限ベータの状態を表現することができる緩和理論について発表があった。

天体プラズマについては、草野氏(広島大)より太陽における代表的な電磁流体力学現象として黒点とフレアを例に挙げ、観測と理論研究の現状についての報告があった。また、南氏(大阪市立大)より超音速プラズマ源を用い室内実験による宇宙の衝撃波現象の再現を行い、地球の磁気圏、彗星磁気圏、太陽圏の構造等についての研究成果の報告があった。

一方、実験室プラズマについては、池畑氏(茨城大)よりプラズマ遠心同位体分離に利用される $J \times B$ 駆動回転プラズマの電磁流体现象を概観し、

現在の実験成果についての報告があった。田中氏(核融合研)は、ECR生成されたプラズマ中で形成された2本の腕を持つスパイラル構造形成メカニズムを、回転するプラズマ中の低周波密度揺動の固有値問題として解析した。比村氏(東大)は、高 β 平衡に必要とされる強い流れの場に対して、 $E \times B$ シアー流の利用を考え、Proto-RT装置でその予備実験を行った実験の報告があった。小野氏(東大)は、スフェロマック同士の軸対称合体の実験を行い、その磁束比を変化させると、磁気エネルギーが一定で幅広い範囲の磁気ヘリシティを有する合体プラズマが生成できるとの報告があった。佐宗氏(東北大)より、高速での大気圏(再)突入での飛行体周りに形成される衝撃波層内で現象についての実験と計測の紹介があった。篠原氏(九大)は、大口径RF生成プラズマ中でのホローからピークしたプラズマ密度分布制御とその不安定性についての報告があった。今井氏(名大)は直線型ダイバータ模擬装置NAGDIS-IIにおいて高周波を用いてプラズマの温度・密度を制御する実験を行った結果の報告があった。蒲谷氏(横浜国大)は粒子シミュレーションによるイオンの流束とプラズマ流の関係について調べた結果の報告があった。丸山氏(横浜国大)は、静電アナライザーを用いてプラズマの径方向電場に伴う回転不安定性の密度揺動の2次元分布とその時間変化を示した。永岡氏(名大)は、ECRプラズマ中の周方向 $E \times B$ ドリフトを用いて、方向性プローブの較正を行い、流れ場の逆転構造を観測した。堀氏(東北大)により、高密度電磁流体実験装置(HITOP)において磁場をノズル形状にし、放電電流を大きくすることでマッハ数2.5程度的高速プラズマ流が得られたとの報告があった。杉村氏(東北大)によりHITOP装置で生成された高速プラズマ流のマッハプローブ、分光器、飛行時間型粒子分析器の同時測定をおこない、プラズマ流速、イオン温度、マッハ数を求め、互いの計測量に矛盾のないことを確認したとの報告があった。

課題番号 H-9/B-4

計算資源制約下の計算パラダイム

〔1〕組織

企画者：丸岡 章（東北大学大学院情報科学研究科）
 責任者：白鳥 則郎（東北大学電気通信研究所）
 分担者：阿曾 弘具（東北大学）
 伊藤 貴康（東北大学）
 西関 隆夫（東北大学）
 根元 義章（東北大学）
 牧野 正三（東北大学）
 瀧本 英二（東北大学）
 天野 一幸（東北大学）
 伊藤 章則（山形大学）
 五十嵐善英（群馬大学）
 渡辺 治（東京工業大学）
 斉藤 和巳（NTT研究開発推進部）
 岡本 栄司（北陸先端科学技術大学院大学）
 西野 哲朗（電気通信大学）
 戸田誠之助（日本大学）
 平田 富夫（名古屋大学）
 佐藤 雅彦（京都大学）
 森下 真一（東京大学）
 酒井 義文（東洋大学）
 有村 博紀（九州大学大学院）
 永松 正博（九州工業大学）
 諏訪 正樹（シドニー大学）

〔2〕研究会報告

Turning機械は元々人間の知的活動の一側面を表す計算モデルとして定式化された。この計算モデルに端を発する計算科学はその後大きく発展はしたが、認識、学習、記憶等のテーマとますます遊離する傾向にある。また、一方、パーセプトロン、セル構造オートマトン、ニューロネットワーク、隠れマルコフモデル等、これまで提案されている各種の計算モデルが何故計算効率がいいのかについて十分な理解が得られるまでには至っていない。本研究プロジェクトでは、基本計算単位を組み立て、所望の機能を実現するという、計算科学のボトムアップの方法論を踏襲しながら、時間や空間（メモリ）の計算リソースを、所望の機能を実現するのに必要なぎりぎりのものに限定した場合の計算に、その計算の本質が潜むという立場にたち、個々の問題の計算現象の解明を図る。この

研究のプロジェクトは、上に述べた視点から計算資源制約下での新しい計算パラダイムの確立を目指して企画された。本年度は以下の通り3回の研究会を開催した。

第1回

日時：平成10年4月2日(木)

場所：東北大学工学部電気情報棟512室

演題と講師：

“デザインスケッチの役割：認知科学的探究”

諏訪正樹（シドニー大学建築デザイン学科）

第2回

日時：平成10年12月24日(木)

場所：東北大学工学部青葉記念会館702

演題と講師：

1. “単純なウェブキャッシングアルゴリズム”

酒井義文（東洋大学工学部）

2. “グラフ同型写像の数え上げ問題について”

戸田誠之助（日本大学文理学部）

3. “ニューラルネット学習アルゴリズム”

斉藤和巳（NTT研究開発推進部）

4. “非線形な回路計算量を持つ問題について”

渡辺治（東京工業大学情報理工学研究科）

5. “最適結合ルール発見のための並列データマイニング技術”

森下真一（東京大学医科学研究所）

6. “大規模テキストデータからの高速データマイニング”

有村博紀（九州大学システム情報科学研究科）

第3回

日時：平成11年1月25日(月)

場所：東北大学工学部電気情報棟451室

演題と講師：

1. “量子計算量理論における最近の話題”

西野哲朗（電気通信大学電子情報学科）

2. “Secure Message Transmission in Insecure Networks”

五十嵐善英（群馬大学工学部情報工学科）

3. “ラグランジュの方法による充足可能性問題の解法”

永松正博（九州工業大学工学部電気工学科）

以上3回の研究会を通して、生物からネットワークやセキュリティに至る幅広い分野で取り扱われる情報処理に潜む、計算資源制約下の計算の原理の解明を目指し、個別分野を越えて活発な討論がなされた。

[3] 公表論文

- ・ K. Amano and A. Maruoka, A Superpolynomial Lower Bound for a Circuit Computing the Clique Function with at most $1/6 \log \log n$ Negation Gates, Lecture Notes in Computer Science, No. 1450, pp.399-408 (1998).
- ・ H. Ishizaka and H. Arimura and T. Shinohara, Finding tree patterns consistent with positive and negative examples using queries, Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, Vol. 23, pp.101-115 (1998).
- ・ 小野孝男, 平田富夫, 浅野孝夫, 摂動法による MAX SAT 近似アルゴリズムの改良, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-I, No.9, pp.1107-1111 (1998).
- ・ 鈴木基之, 原田淳, 牧野正三, 阿曾弘具, 離散型 HMnet を用いた言語モデルの獲得, 電子情報通信学会論文誌 Vol.J81-D-II, No.12, pp.2695-2702 (1998).
- ・ A. Maruoka, M. Paterson and H. Koizumi, Consistency of Natural Relations on Sets, Probability and Computing, Vol.7, pp.281-293 (1998).
- ・ S. Morishita, On Classification and Regression, In Proc. of First Int'l Conf. on Discovery Science, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1532, pp.40-57.
- ・ M. Nagamatu and T. Yanaru, Parallel State Space Search for SAT with Lagrange Programming Neural Network Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Information Processing, pp.767-770.
- ・ Y. Nemoto, An Upper Bound on Bandwidth Requirement and Its Applications to Traffic Control in ATM Networks, IEICE TRANS. COMMUN., Vol.E81-B, No.12, pp.2371-2379 (1998).
- ・ R. Beals, T. Nishino and K. Tanaka, On the Complexity of Negation-limited Boolean Networks, SIAM Journal on Computing, Vol.27, No.5, pp.1334-1347 (1998).
- ・ H. Sakazaki, E. Okamoto and M. Mambo, ID-Based Key Distribution System over an Elliptic Curve, Contemporary Mathematics, American Mathematical Society, Vol.225, pp.215-224 (1999).
- ・ R. Nakano and K. Saito, Computational characteristics of law discovery using neural networks, Proc. of the 1st International Conference on Discovery Science (DS98), pp.342-351 (1998).
- ・ Y. Kameyama and M. Sato, A Classical Catch/Throw Calculus with Tag Abstractions and its Strong Normalizability, Computing Theory '98, Australian Computer Science Communications, Vol. 20, No.3, pp.183-197 (1998).
- ・ E. Takimoto and A. Maruoka, On the boosting Algorithm for Multiclass Functions based on Information-Theoretic Criterion for Approximation, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol.1532 pp.256-267 (1998).

課題番号 H-10/B-1

半導体エピタキシャル成長の原子レベル 制御に関する研究

[1] 組織

企画者：白石 賢二（N T T物性基礎研）
 責任者：大野 英男（東北大通研）
 分担者：西永 頌（東大院工）
 一宮 彪彦（名大院工）
 押山 淳（筑波大物理）
 中山 弘（神戸大工）
 瀬瀬 明伯（東京農工大工）
 伊藤 智徳（N T Tフォトニクス研）
 大野 隆央（金材技研）
 金子 忠明（関西学院大理）
 五明 明子（NEC光・超高周波デバイス研）
 平岡 佳子（東芝基礎研）
 中山 隆史（千葉大理）
 常行 真司（東大物性研）
 冬木 隆（奈良先端大）
 秋本 晃一（名大院工）
 吉野 淳二（東工大理）
 名西やすし（立命館大理工）
 阿久津典子（大阪電通大工）
 田中 雅明（東大院工）
 宇田 毅（J R C A T）
 塚田 捷（東大院理）
 尾浦憲治郎（阪大院工）
 入沢 寿美（学習院大計算機センター）
 長谷川修司（東大院理）
 山口 浩司（N T T物性基礎研）
 桑野 範之（九大院総理工）
 大野かおる（東北大金研）
 室田 淳一（東北大通研）

[2] プロジェクト研究会の概要

今日の情報処理技術において中心的役割を果たしているのは半導体C P U、半導体メモリーに代表される半導体デバイスである。近年ではこのような半導体デバイスの微細化のニーズの高まりに伴い、原子レベルで制御可能な半導体デバイス製造技術が求められるようになってきた。ところが、半導体微細加工を担う代表的な技術であるエピタキシャル成長をひとつとってみても、原子スケールでの機構が十分に理解されているとはいえない。これは、エピタキシャル成長それ自体が「吸

着」、「拡散」、「島形成」、「新たな再構成表面の形成」等、多くの素過程が複雑に絡み合った現象だからである。このため、「半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御」の実行には、まず、「表面物理」、「結晶成長」、「電子デバイス」、「第一原理計算」、「統計力学」等、広範な分野の研究者が一同に会して「半導体エピタキシャル成長」について有機的に議論する機会を設けることが第一歩であると考えられる。

このような状況の下、平成10年度に「半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究」という研究課題で共同プロジェクト研究が採択され、第1回の研究会が平成10年の10月22日～23日に開催された。本報告ではこの第1回の研究会に関して報告する。

[3] 1998年度の成果報告

第1回研究会は、研究分担者に「半導体エピタキシャル成長」に関する研究発表を募集して、平成10年10月22日(木)～23日(金)の2日間にわたって秋保リゾート・ホテルクレセントにて開催された。研究会では33件の発表がなされ、45名の参加者によって、活発な討論が行われた。

今回の研究会では「エピタキシャル成長」の他に半導体デバイス作製に不可欠な現象である「エッチング」や「酸化」の機構に関するスペシャルセッションを開催し、9件の講演をお願いした。以下、今回の研究会において目立った研究の進展についてその概要を述べる。

今回非常に目立ったのは「エピタキシャル成長における水素の効果」の発表である。水素化S i表面及び水素化S i表面ステップにおいてS i原子はエネルギー障壁なしに水素原子と置換して吸着できること、また吸着したS i原子は水素原子の捕獲、放出を繰り返しながら拡散してゆくことが押山（筑波大）によって報告され、その複雑な機構について非常に活発な討論が行われた。近藤ら（電総研）は一般にS iエピタキシャル成長を阻害すると考えられていた水素が低温のP E C V D成長においては逆に成長を促進する働きがあることを示し、エピタキシャル成長に水素を援用することで薄膜太陽電池作製技術に大きなブレイク

スルーを与える可能性があることを指摘した。またその他にも第一原理計算（東芝-平岡、東北大金研-大野かおる）、SiGeのCVD成長（東北大通研-室田）、GaN成長（立命館大-名西）等水素の効果に関する10件近くの発表が行われ、活発な議論が行われた。まだ、多くの問題が残っているとはいえ、「水素の助けを借りた新しいエピタキシャル成長技術」が確立される日も近いのではないか、という印象がもたれた。さらに、「エピタキシャル成長における水素の効果」を詳細に議論する非公式な研究グループが本研究会での議論を機に組織された。これは本研究会の目的である「有機的な議論の場を与える」という意義が十分に果たされた一例である。

これまで一般に、エピタキシャル成長中に出現するRHEED振動は成長温度が高温のときにのみ観測されるものであると考えられていたが、安田ら大野英男教授のグループ（東北大通研）は、低温のGaAsのエピタキシャル成長においてもRHEED振動が出現することを報告した。さらに、低温におけるRHEED振動の出現には表面に存在する過剰AsがGaの表面拡散を促進していることを指摘した。これらの結果は伊藤ら（NTTシステムエレ研）が報告している過剰Asによってポテンシャル障壁が低減する計算結果と定性的に一致することが議論の場で指摘された。この研究会での議論を機に、両研究グループの間で密接な研究討論が行われるようになった。

また、寒川ら桑野助教授のグループ（九大）は伊藤ら（NTTシステムエレ研）が確立した簡便なエネルギー計算手法を応用して、III-V系のエピタキシャル成長で生じるオーダリング現象を議論した。このようにプロジェクト研究会のメンバー間で情報交換が行われ、相互の研究にフィードバックされている例が多数見られたのが今回の研究会の特徴でもある。

スペシャルセッションで議論された、「エッチング」と「酸化」に関しては、その過程が「エピタキシャル成長」に比べて非常に複雑であると考えられているにも関わらず、ミクロスコピックな理解が着実に進んできていることが実感された。例を挙げると、影島ら（NTT物性基礎研）はSiの酸化過程において生じる歪みを緩和するために、酸化の進行とともにかなり多くのSi原子が界面から放出されなくてはならないことを第一原理計算による考察から指摘した。また、渡部ら（NEC基礎研）は酸化によっても元来Si表面に存在する原子層ステップの位置が変化しないことを実験的に明らかにするとともに、酸化初期に

においてだけでなく、従来の酸化炉中の酸化においても原子層酸化が進行していることを詳細な実験から検証した。エッチングにおいては、金子（関西学院大）及び、寒川（NTT物性基礎研）がそれぞれAs₂Br₃及びHClによってGaAsの原子層エッチングが起きていることをRHEED振動解析から見いだした。またこれらの結果は大野ら（金材研）の第一原理計算の結果と定性的に一致することも議論の場で明らかとなった。

その他、パリエルス転移のSTMを用いた世界初の実空間観察（東大-長谷川）、半導体ヘテロ界面における転位形成（NTT物性基礎研-蟹澤）、半導体表面における面間拡散の観察（東大-西永）、半導体島の崩壊過程の観察（名古屋大-一宮）、SiCの可逆的表面構造遷移（奈良先端大-畑山）、電気陰性度によるウルツ鉱型結晶構造の安定性の系統的解釈（NTTシステムエレ研-伊藤）、励起分子線によるSi、ダイヤモンドの成長とドーピング（神戸大-中山弘）等数多くの興味深い報告がなされた。

全体的な印象として、「理論研究」と「実験研究」の間の垣根が本研究分野においては着実に低くなっていることが実感された。今後は第1回研究会において得られた成果を基礎に、さらに一層の「有機的な研究者間の協力」を発展させてゆくために来年度も第2回プロジェクト研究会を企画してゆきたいと考えている。

[4] まとめ

本プロジェクト研究会は、「表面物理」、「結晶成長」、「電子デバイス」、「第一原理計算」、「統計力学」等、広範な分野の研究者が一同に会して「エピタキシャル成長」について有機的に議論する機会を設けることにより、「半導体エピタキシャル成長の原子レベルでの制御技術」の確立に資することを目的として組織された。第1回のプロジェクト研究会が平成10年の10月22日～23日に行われ、活発で有機的な議論が行われると同時に、本研究会を機に研究者の間で、分野の垣根を越えた研究協力が行われるようになった。この意味で第1回研究会はその目的を十分に果たしたと考えている。なお、本年度発足した本プロジェクト研究会は、電気通信研究所のご厚意により来年度も継続できる予定となっている。今後はさらにエピタキシャル成長における「ミクロ」と「マクロ」の間の関係をさらに明確化できるように、第1回研究会において得られた成果を基礎に、さらに、第2回研究会においても「有機的な研究者間の協力の機会」を効率的に設けてゆく予定である。

課題番号 H-10/B-2

環境共生型量子反応制御プロセスに関する研究

概要

電子デバイスの製造技術は飛躍的に発展してきた。しかし、豊かな人間生活を支える科学技術の急速な発展の代償として、資源・エネルギーの浪費、およびそれに伴う環境の破壊が大きな問題となっている。この問題を解決するために、今後あらゆる科学技術の分野で、省エネルギー・低負荷の「環境共生型」技術を開発していくことが焦眉の急となっている。

本プロジェクト研究は、この要請に答えるべく、現在用いられているプロセス用の各種材料ガスおよびその代替となる原材料を用いた、プラズマ・イオン・光プロセス中の量子反応過程を系統的に研究し、低環境負荷・高効率反応経路を見出し、その反応の制御法を開発することにより、次世代の電子デバイスを創製できる「環境共生型量子反応制御プロセス」を確立するための戦略を構築することを目的とする。環境問題は今や人類の最も重要な課題となっており、材料・エレクトロニクスのような先端技術の係わる研究者もそれに対する強い問題意識を持っており、その解決策を模索していると思われる。しかし、この問題は、問題の複雑さ・深刻さにより、個々の研究者が個別に取り組むことは極めて難しい状況にある。そこで、本研究プロジェクトでは、薄膜材料プロセスや反応制御に係わってきた、材料・電子工学の研究分野ばかりでなく、物理・化学の研究分野の研究者の英知も結集して、新しい環境共生・ゼロエミッション型の反応プロセス制御法の開発のための戦略を構築するための研究会を年2回程度開催する。また、必要に応じ、環境問題の専門家を特別講師として招聘し、地球規模の環境問題についての認識も深める。

21世紀の電子デバイス製造技術は、何らかの形で省エネルギー・低環境負荷の「環境共生型」技術となることが強く求められてくる。そして、生産される電子デバイスも省エネルギー型のものになっていくであろう。このような大きな流れが始まっている中で、様々な分野で環境にマッチした科学技術の研究が開始されようとしている。本研究プロジェクトは、このような背景の中で、これからの材料・デバイスプロセス技術が今

後どのように進展すべきかを、様々の角度から総合的に検討するものであり、21世紀の電子デバイス製造技術を開発する上で意義がある。

平成10年度の主な研究成果

本共同プロジェクト研究「環境共生型量子反応制御プロセス」のシンポジウムを平成10年9月21日、22日の二日間にわたって開催した。シンポジウムの趣旨は、現在大きな課題となっている環境問題との関連で、新しい半導体プロセス制御技術についての今後の展望、戦略を検討することとし、以下に示す4テーマについて討論した。

1. 低環境負荷型の新しいデバイス材料の選択、探索
2. 省エネルギー・高機能型の極微細構造の構築
3. 高効率・低環境負荷型のプロセスの開拓
4. 低環境負荷型のプロセスシステムの構築

基本となるのは低環境負荷、環境共生であるが、21世紀の半導体デバイスプロセスをどうするかを考えると、最先端技術としての微細化プロセスの開発も重要なことである。その点も考慮して討論が行われた。以下に個々のテーマについて簡単に説明する。

1. 低環境負荷型の新しいデバイス材料の選択、探索
材料の選択によってプロセスが単純化されると、環境負荷という観点から大きなメリットとなる。例えば、絶縁薄膜としてシリコン酸化膜に代わる新しい材料を探し出す、また、薄膜形成の原材料として無害で環境負荷の小さいものを探索することなどが研究対象となる。

2. 省エネルギー・高機能型の極微細構造の構築
環境負荷の大きい反応性ガスを用いないプロセスで微細構造を構築する方法を探索する。例えば、粒子線、電子線あるいはSTMを用いた微細構造の形成法の開発が大きな研究テーマとなる。また、微細構造デバイスの構築は省エネルギーにつながる重要な研究テーマであり、具体的なデバイス構造の提案も研究対象となる。

3. 高効率・低環境負荷型のプロセスの開拓

プロセス反応の制御によりプロセスの高効率化、低環境負荷型にすることがテーマとなる。用いる反応は光・プラズマ・粒子線励起反応いずれでもよく、化学反応機構の基礎的な解明から実際の反応制御法の開発まで含めて、次世代の高効率反応プロセスを開発することを大きな目標とする。

4. 低環境負荷型のプロセスシステムの構築

要素技術が進展しても、個々の技術の集まりであるトータルのシステムで整合性がとれたものにならないと実用化には至らない。従来技術も含めて、低環境負荷型のプロセス・システムにするための方策を検討する。例えば、リサイクルシステムを構築するにはどのようにすればよいかなどについて検討する。

以上、研究テーマを大まかに説明したが、これはあくまで議論のたたき台として考えたものであり、シンポジウムでは各テーマについて活発な議論が行われた。シンポジウム参加者は、民間研究機関からの参加者、大学院生を含め35名であった。第一日目の夜には20名の参加者を集めて懇親会が行われた。

「環境共生型量子反応制御プロセス」は簡単に結論が出るテーマではなく、その解決の糸口を見出すだけでも数年の研究期間が必要である。また、これから21世紀に向けて、環境問題とエネルギー問題が人類に課せられた大きな研究テーマになることは間違いない。その意味で本研究テーマは21世紀の研究課題といえる。したがって、本共同研究プロジェクトは、21世紀の研究課題の問題設定を行う意味で非常に重要な役割を担っていると考える。

最後にシンポジウムのプログラムを付記する。

9月21日

開会挨拶 研究代表者 後藤 俊夫（名大院工）

低環境負荷型の新しいデバイス材料の選択、探索

1. 「酸素プラズマを用いた材料プロセス」
八百 隆文（東北大金研）
2. 「IV族半導体の原子制御プロセス」
室田 淳一（東北大通研）
3. 「有機化合物を用いた半導体薄膜形成」
庭野 道夫（東北大通研）
4. 「半導体表面制御による半導体/磁性体量子ナノ構造の形成」
尾嶋 正治（東大院工）

省エネルギー・高機能型の極微細構造の構築

1. 「放射光によるナノプロセスと原子分子レベルでの反応評価」
宇理須恒雄（分子研）
2. 「成長および加工するナノスケール微細構造の形成と評価」
竹田 美和（名古屋大院工）
3. 「高イオンエネルギー領域での反応制御と微細構造プロセスへの応用」
今西 信嗣（京大院工）
4. 「走査プローブ顕微鏡を用いた環境共生型微細加工プロセス技術の可能性」
岩崎 裕（阪大産研）

9月22日

高効率・低環境負荷型のプロセスの開拓

1. 「低環境負荷量子反応制御プロセスの探索」
後藤 俊夫（名古屋大工）
2. 「大口系マイクロ波プラズマプロセス装置の開発」
河合 良信（九州大総理工）
3. 「プラズマの電子・イオンエネルギー制御」
飯塚 哲（東北大院工）
4. 「イオン反応制御」
石川 順三（京大院工）

低環境負荷型のプロセスシステムの構築

1. 「低負荷プラズマプロセスのモデリングによるデザイン」
真壁 利明（慶応大理工）
2. 「低負荷プラズマガス流のシミュレーション」
南部 健一（東北大流体研）
3. 「低環境負荷プラズマプロセス技術（エッチングを中心として）」
黒木 幸令（九大システム情報）
4. 「低環境負荷CVDおよびアブレーション膜作成」
奥山 雅則（大阪大基礎工）

課題番号 H-10/B-3

テラフォトリクスの研究

[1] 組織

企画者：伊藤 弘昌（東北大学電気通信研究所）
 責任者：伊藤 弘昌（東北大学電気通信研究所）
 分担者：平川 一彦（東京大学生産技術研究所）
 野田 進（京都大学工学研究科）
 小林 喬郎（福井大学工学部）
 佐々木孝友（大阪大学工学研究科）
 山中 正宣（大阪大学レーザー研究センター）
 萩行 正憲（大阪大学超伝導エレクトロニクス研究センター）
 日高 建彦（湘南工科大学）
 川瀬 晃道（東北学院大学）
 猿倉 信彦（分子科学研究所）
 平等 拓範（分子科学研究所）
 井筒 雅之（郵政省通信総合研究所）
 阪井 清美（郵政省通信総合研究所）
 小野寺紀明（郵政省通信総合研究所）
 K.Sアベディン（郵政省通信総合研究所）
 加藤 洸（防衛庁第2研究所）
 伊藤日出男（通産省電子技術総合研究所）
 田代 英夫（理化学研究所）
 和田 智之（理化学研究所）
 上杉 直（NTT基礎研究所）
 永沼 充（NTT光エレクトロニクス研究所）
 中沢 正隆（NTT光ネットワークシステム研究所）
 横山 弘之（日本電気光エレクトロニクス研究所）
 小川 洋（沖電気半導体技術研究所）
 平野 嘉仁（三菱電機情報技術総合研究所）
 丹羽 英二（電気磁気材料研究所）
 鈴木 哲（仙台電波高専）
 宮城 光信（東北大学工学研究科）
 松浦 祐司（東北大学工学研究科）
 斎官清四郎（東北大学理学研究科）
 米山 務（東北大学電気通信研究所）
 横尾 邦義（東北大学電気通信研究所）
 三村 秀典（東北大学電気通信研究所）
 水野 皓司（東北大学電気通信研究所）
 大野 英男（東北大学電気通信研究所）
 中條 渉（東北大学電気通信研究所）

谷内 哲夫（東北大学電気通信研究所）

[2] はじめに

光波とマイクロ波・ミリ波の境界領域にある1THz～100THzの周波数領域（波長が3～300 μ m）は、未開拓な電磁波スペクトル空間であり物性物理学、応用物理学、生命科学等の研究分野において新たな現象の発見をもたらす可能性がきわめて高い。

本研究では、非線形光学効果を軸として光波からコヒーレントなテラヘルツ波を発生技術とともに、周辺技術である検出や制御技術およびその応用システムまでの一連の研究を展開し、この電磁スペクトル空間により生み出される新しい科学技術分野である「テラフォトリクス」の確立と体系化をはかることを大きな目的としている。

[3] 研究経過

テラフォトリクスに関する最新の研究状況と将来の研究方向を議論するために、産官学の共同研究者を仙台に招聘し、3回の研究会を開催した。研究会の開催日程とプログラムは次のとおりである。

第1回テラフォトリクス研究会

日時：1998年8月25日（火）：13:00～17:10

8月26日（水）：9:00～12:20

会場：東北大学電気通信研究所 2号館4階大会議室

8月25日（火）

第1部 超高速技術と「テラフォトリクス」

1. 「ミリ波・サブミリ波光変調技術」

井筒雅之（郵政省通信総合研究所）

2. 「テラビット超高速光技術」

横山弘之（NEC光エレクトロニクス研究所）

3. 「モノリシック型モード同期半導体レーザー」

小川 洋（沖電半導体技術研究所）

4. 「通信用サブテラヘルツフォトリクスデバイス」

永沼 充（NTT光エレクトロニクス研究所）

5. 「Erドープファイバーレーザーでの光パルス発生とその高速化」

小野寺紀明, K.S.アベディン
(郵政省通信総合研究所)

斎官清四郎 (東北大学大学院理学研究科)

第2部 レーザー・非線形光学技術と「テラフォ
トニクス」Ⅰ

6. 「LD励起高出力固体レーザーの開発」
山中正宣 (大阪大学レーザー研究センター)
7. 「小型高コヒーレントレーザー」
小林喬郎 (福井大学工学部)
8. 「CdGeAs₂の線形及び非線形光学特性」
加藤 洌 (防衛庁第2研究所)
9. 「二波長LDを用いたテラヘルツ発生」
日高建彦 (湘南工大)
10. 「光混合自由電子レーザー」
横尾邦義, 三村秀典
(東北大学電気通信研究所)
11. 「光パラメトリック発振によるテラヘルツ波発生」
川瀬晃道, 伊藤弘昌
(東北学院大学, 東北大学電気通
信研究所)

8月26日(水)

第3部 レーザー・非線形光学技術と「テラフォ
トニクス」Ⅱ

12. 「磁場によるTHz電磁波の高出力化」
猿倉信彦 (分子科学研究所)
13. 「半導体からのTHz電磁波の発生」
阪井清美 (郵政省通信総合研究所)
14. 「Multi-mode LDとLTG-GaAs光スイッチング素
子を用いたサブテラヘルツ分光システム」
萩行正憲 (大阪大学超伝導エレクトロニ
クス研究センター)
15. 「テラフォトニクスとフェムト秒プロジェクト」
伊藤日出男 (通産省電子技術総合研究所)

第4部 材料科学と「テラフォトニクス」

16. 「遠赤外レーザによる半導体物性評価」
上杉 直 (NTT基礎研究所)
17. 「時間分解テラヘルツ分光法による半導体ヘ
テロ構造中の電子ダイナミクスの評価」
平川一彦 (東京大学生産技術研究所)
18. 「InAs/GaSb/AlSbヘテロ構造を用いたサブバ
ンド間発光素子の検討」
大野英男 (東北大学電気通信研究所)
19. 「短波長化サブバンド間遷移における励起電
子の超高速緩和とその機構」
野田 進 (京大大学院工学研究科)
20. 「THz波とサイドバンド分光」

第2回 テラフォトニクス研究会

日時: 平成10年11月17日(火) 10:00~15:30

会場: 東北大学電気通信研究所

2号館4階大会議室

中心テーマ: 「固体コヒーレント光源」

1. 「有機非線形光学結晶DASTの育成と評価」
高橋義典, 佐々木孝友
(大阪大学大学院工学研究科)
2. 「新紫外波長可変固体レーザー」
猿倉信彦 (分子科学研究所)
3. 「電子制御波長可変固体レーザー」
和田智之 (理化学研究所)
4. 「セラミックNd:YAGレーザー」
平等拓範 (分子科学研究所)
5. 「共鳴トンネルダイオードを用いたテラヘル
ツ帯発振・増幅器」
藤井 哲, ベイ ジョンスク, 水野皓司
(東北大学電気通信研究所)
6. 「MgO:LiNbO₃を用いた光パラメトリック発振
によるTHz波発生」
四方潤一, 狩野健一, 川瀬晃道, 伊藤弘昌
(東北大学電気通信研究所)
7. 特別講演「半導体ラマンレーザー」
須藤 建 (東北大学大学院工学研究科)

第3回 テラフォトニクス研究会

共催: 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト
研究

「高温超伝導体のミリ波~サブミリ波デバイ
スに関する研究」

共催: 東北大学電気通信研究所 超伝導工学研究会
「マイクロ波~光」デバイスの最近の動向

日時: 平成10年12月9日(水) 13:30~17:10

会場: 東北大学電気通信研究所

2号館4階大会議室

1. 「郵政省でのミリ波・サブミリ波研究プロジ
ェクト」
福地一 (郵政省通信総合研究所 関西先端
研究センター)
2. 大容量光伝送用電子デバイスの動向」
佐野栄一 (NTT光ネットワークシステム
研究所)
3. 「テラフォトニクス」
伊藤弘昌 (東北大学電気通信研究所)
4. 「移動体通信の最近の動向」
安達文幸 (NTT DoCoMo)

[4] 研究成果

本年度は、「テラフォトンクス」の新しいコンセプトを本研究会で議論しながら作り上げていくことを大きな目的とし、第1回研究会では共同研究者の研究状況の紹介と共に、超高速技術、レーザ・非線形光学技術および材料技術との関連を議論した。第2回研究会では、テラヘルツ固体レーザコヒーレント光源を中心テーマとして取り上げ、テラヘルツ波発生技術に関する議論を深めることができた。第3回研究会では、超伝導関連の研究会と共催で、マイクロ波、ミリ波・サブミリ波に関する最新の研究成果の紹介が行われ、研究の将来方向を議論することができた。

[5] まとめ

本研究会により築かれたテラフォトンクスに関する研究討論の場を通して、電磁スペクトルのフロンティアであるテラヘルツ技術に関して、材料研究者からデバイスおよびシステム研究者までの専門研究者間において活発な議論が行われ、共通の課題認識と将来方向を考えることができ有益であった。これらの研究は1年では不十分であり今後引き続きさらに研究を深め、国際的にも大きく拡大する予定である。

課題番号 H-10/B-4

3次元周期ナノ構造とデバイス応用の研究

[1] 組織

企画者：川上彰二郎（東北大学電気通信研究所）
 責任者：川上彰二郎（東北大学電気通信研究所）
 分担者：井上 久遠（北海道大学電子科学研究所）
 小柴 正則（北海道大学大学院工学研究科）
 中川 清司（山形大学工学部）
 水野 皓司（東北大学電気通信研究所）
 谷内 哲夫（東北大学電気通信研究所）
 馬場 一隆（東北大学大学院工学研究科）
 白石 和男（宇都宮大学工学部）
 大高 一雄（千葉大学工学部）
 伊賀 健一（東京工業大学精密工学研究所）
 榊裕 之（東京大学先端科学技術研究センター）
 荒川 泰彦（東京大学国際産学共同研究センター）
 小関 健（上智大学理工学部）
 永沼 充（帝京科学大学理工学部）
 馬場 俊彦（横浜国立大学工学部）
 井上 光輝（豊橋技術科学大学電気・電子工学系）
 野田 進（京都大学大学院工学研究科）
 吉野 勝美（大阪大学大学院工学研究科）
 瀬川勇三郎（理化学研究所フォトダイナミクス研究センター）
 平山 秀樹（理化学研究所）
 桜井 照夫（技術研究組合フェムト秒テクノロジー研究機構）
 浅川 潔（技術研究組合フェムト秒テクノロジー研究機構）
 井筒 雅之（郵政省 通信総合研究所）
 佐藤 史朗（リコー研究開発本部応用電子研究所）
 阿部 孝夫（信越半導体）
 山田 博仁（NEC筑波研究所）
 岡本 勝就（NTT光エレクトロニクス研究所）
 玉村 敏昭（NTT光エレクトロニクス研究所）
 川西 悟基（NTT光ネットワークシステム研究所）
 土屋 治彦（トーキン）
 勝山 俊夫（日立製作所 中央研究所）
 石川 浩（富士通研究所 基盤技術研究所）
 花泉 修（東北大学電気通信研究所）

[2] 研究概要

フォトリソグラフィとは、二種類の透明材料を光の波長オーダー（サブミクロン）の周期で2次元あるいは3次元的に配列させた構造体である。この媒質は、光の伝搬がどの方向にも遮断される波長領域（フォトリソグラフィバンドギャップ）と、極めて大きい異方性および分散性をもつ伝搬域、という光学特性をもつ。これらの特徴を活かすことで、これまでにない新しい光機能デバイスを実現することができ、次世代の光エレクトロニクスの鍵となる技術として期待されている。

本分野の研究は欧米を中心に始まったが、国内でも独自の技術を元にした作製方法や解析技術が開発されていた。本プロジェクトでは、それらの知見を集め、フォトリソグラフィの作製・解析研究を体系的に確立し、さらに応用デバイスへの展開を加速させることを目的とした。

[3] 研究会報告

今年度は、以下のように2回研究会を開催した。第一回研究会では、各機関におけるフォトリソグラフィの研究現状、あるいはフォトリソグラフィ作製のための基礎技術、応用技術の展望などを議論した。第二回研究会では、文部省科学技術研究助成国際学術研究を通して共同研究を行なっている英国の研究者5名を招聘し、合同の国際研究会とした。作製・評価技術、解析手法、応用デバイスに関し活発な議論がなされた。

第一回研究会

日時：1998年6月15日(月)・16日(火)

場所：東北大学電気通信研究所大会議室

1. 川嶋貴之, 佐藤尚, 安田納章, 川上彰二郎（東北大学 電気通信研究所）「Si/SiO₂系 3次元ナノ周期構造の形成機構とその作製」
2. 玉村敏昭, 倉持栄一, 天明二郎（NTT光エレクトロニクス研究所）, 鎌田英彦（NTT基礎研究所）「位置制御自己組織化成長によるゲイン媒質 3次元周期構造形成」
3. 野田 進, 山本宗継, チュチナン・アロンカーン（京都大学 大学院工学研究科）「ウェハ融着法による3次元フォトリソグラフィ結晶の作製とその光学的特性」

4. 阿部孝夫 (信越半導体), 末沢正志 (東北大学 金属材料研究所), 和田一実 (MIT) 「水素イオン誘起の剥離法によるPhotonic Band Gap構造の創成」
5. 井上久遠 (北海道大学 電子科学研究所) 「2次元フォトリック結晶を利用したレーザー作用」
6. 馬場俊彦 (横浜国立大学 工学部) 「半導体フォトリック結晶の展望と課題」
7. 平山秀樹, 青柳克信 (理化学研究所) 「フォトリック結晶を共振器として用いた面発光レーザーの提案」
8. 大寺康夫, 花泉修, 竹井良彦, 川上彰二郎 (東北大学 電気通信研究所) 「Si/SiO₂系3次元ナノ周期構造体の光学特性の評価と解析」
9. 小坂英男, 富田章久 (NEC 筑波研究所), 川嶋貴之, 佐藤尚, 川上彰二郎 (東北大学 電気通信研究所), 納富雅也, 玉村敏昭 (NTT光エレクトロニクス 研究所) 「3次元グラファイト型フォトリック結晶のバンド構造と光の伝播」
10. 小関健 (上智大学 理工学部) "Synthesis of Optical Circuits"
11. 矢野聡, 瀬川勇三郎 (理化学研究所), J. S. Bae, 水野皓司 (東北大学 電気通信研究所), 大高一雄 (千葉大学 工学部) 「ミリ波領域における二次元及び三次元光結晶」
12. 井筒雅之 (通信総合研究所) 「光集積回路の微小化について」

第二回研究会

日時: 1999年3月1日(月)・2日(火)

場所: 東北大学電気通信研究所 大会議室

1. A. Ward (Imperial College, UK), "Order N photonic band structures for metals and other dispersive materials,"
2. M. Koshiba, M. Hikari, and Y. Tsuji (Hokkaido Univ.), "Analysis of propagation characteristics of photonic crystal circuits,"
3. K. Takano and K. Nakagawa (Yamagata Univ.), "Numerical analysis of an optical demultiplexer using 2D photonic crystal,"
4. Y. Ohtera, T. Sato, T. Tamamura*, T. Kawashima, T. Chiba, Y. Honma**, and S. Kawakami (Tohoku Univ., *NTT, **Tokin), "Fabrication and evaluation of photonic crystal polarization splitters,"
5. Y. Arakawa, T. Someya, S. Ishida, and T. Tachibana (Research Center for Advanced Science and Technology, Univ. of Tokyo), "Quantum dots with photonic crystal,"
6. H. Kosaka (NEC), "Superprism phenomena for

WDM add/drop filters,"

7. J. C. Knight, T. A. Birks and P. St. J. Russell (Univ. of Bath, UK), "From scattering to waveguiding in photonic crystal fibres,"
8. O. Hanaizumi, Y. Ohtera, T. Sato, and S. Kawakami (Tohoku Univ.), "Three dimensional photonic crystal waveguides,"
9. A. Matsutani, F. Koyama, K. Iga (Tokyo Institute of Technology), "Sub-micron processes by RIBE, CAIBE, and ICP for GaAs and InP photonic microstructures,"
10. R. M. De La Rue (Univ. of Glasgow, UK), "Active photonic crystals in epitaxial semiconductors: devices and technology,"
11. S. Noda, N. Yamamoto, C. Alonkarn, and M. Imada (Kyoto Univ.), "Three-dimensional semiconductor photonic crystal,"
12. K. Ohtaka and K. Sakoda (Chiba Univ., Hokkaido Univ.), "Laser action in photonic crystals,"
13. P. J. Roberts (DERA, UK), "Spontaneous emission lifetime alteration in photonic crystals,"
14. M. Notomi, T. Tamamura, Y. Ohtera, O. Hanaizumi, and S. Kawakami (NTT, Tohoku Univ.), "Refraction in photonic crystal,"
15. T. Kawashima, T. Sato, N. Yasuda, and S. Kawakami (Tohoku Univ.), "Autocloning technology: the fabrication method for submicron periodic structures,"
16. W. J. Stewart (Marconi Materials Technology, UK), "Photonic Microstructures - a UK industrial perspective,"

[4] まとめ

フォトリック結晶の研究は国内の学会や産業界でも注目を集めており、急速な展開を始めた。これは、フォトリック結晶が様々な波長領域、材料、構造に適用できること、バンドギャップだけでなく伝搬域の異方性・分散性を利用するなど応用技術の幅が広いこと、微細加工技術から理論解析など様々な分野からのアプローチが可能であることなどが挙げられる。今後も本プロジェクトを継続し、広い分野からの研究者と議論を交わし、フォトリック結晶の作製・解析に関する基礎研究および応用デバイスの開発を進めていく。

課題番号 H-10/B-5

新機能性スピニクス材料の基礎と応用に関する研究

1. はじめに

バルクから超薄膜の広範な形状をもつ最先端の磁性材料開発の発展には、現象論を含むマクロな理論では取り扱えない超微細領域に踏み込んだ材料開発、特にマグネティックスの根源である電子スピンを制御することを目指す新たな材料(スピニクス材料)の研究が必須である。本プロジェクトでは、これらの新しい機能をもつスピニクス材料のメゾスコピックな領域での磁気現象ならびに関連の諸現象を電子スピンの立脚した磁性物理現象から解明し、これを基にスピン構造を制御したスピニクス材料を設計・実現、並びにこれら材料の特性計測手法を確立することを指向して、表1に示す研究者と共に本プロジェクト研究会を開催した。

表1 プロジェクト参加者

所 属	研究者名
東 北 大	岡田益男、高村仁、亀川厚則、宮崎照宣、高橋研、荘司弘樹、角田匡清、深道和明、大谷義近、島田寛、北上修、岡本聡、武野幸雄、藤森啓安、高梨弘毅、三谷城司、本間基文、杉本諭、山口正洋、石山和志、井上光輝、荒井賢一
埼 玉 大	山田興治
宇 都 宮 大	石井清
東 大	田中雅明
東 工 大	阿部正紀、佐藤駿
横 浜 国 大	角野圭一
信 州 大	森迫昭光
豊橋技科大	藤井壽崇
名古屋大	岩田聡
阪府高専	藤田直幸
阪市工研	伊崎昌伸
島 根 大	本多茂男、縄手雅彦
九 工 大	山崎二郎
熊 本 工 大	八木正明
長 崎 大	福永博俊、中野正基
琉 球 大	山城康正

2. 研究経過

本プロジェクトの目的を達成するため、スピニクス材料に関する最新の研究成果について、プロジェクト共同研究者ならびに最新の成果を挙げつつある研究者を仙台に招聘し、表2に記す6回の研究会を開催した。

これらの中で11月30日～12月2日に開催した第5回研究会は、基礎材料開発に関わる研究者が一堂に会し、スピニクス材料とその応用に関する最新の研究内容が合計33件紹介された。これらの講演ならびに討論により、スピニクス研究に関する最新の研究成果ならびに現状の問題点が明確となった。なおこの講演会は重要な内容を含む講演が多数予定されたため、多くの研究者の関心を集めた結果、参加者は60名と非常に盛況であった。プログラムの概要を表3に記す。

表2 研究会日程・参加者

回	日 程	参加者（共同研究者）
1	平10.6.3-6	岩田聡、藤田直幸、伊崎昌伸、P.B.Lim（埼玉大）、井上光輝、石山和志
2	平10.6.29-7.1	藤田直幸、井上光輝、石山和志
3	平10.7.27-30	阿部正紀、山城康正、井上光輝、石山和志
4	平10.10.30	P.B.Lim、井上光輝、石山和志
5	平10.11.30-12.2	藤井壽崇、佐藤巧、田中風人、福永博俊、森迫昭光、窪野智浩、伊崎昌伸、藤原裕、佐藤駿、丸山耕一、澤入弘也、山口淳、野尻裕史、角野圭一、石井清、八木正昭、神保睦子、山城康正、金子智之、P.B.Lim、阿部正紀、西村一寛、張福春、竹田英史、本多茂男、山田興治、毛利佳年雄、楠本大、中野正基、井上光輝、石山和志
6	平11.3.2-3	田中雅明、塚本新、小野輝男、能崎幸雄、山城康正

表3 第5回研究会プログラム概要

講演題目	講演者
Fe-半金属系金属ガラス厚板材の作製と軟磁気特性	水嶋隆夫 (アルプス電気)
不連続Fe薄膜の組織と磁気コンダクタ	野尻裕史 (東工大)
Fe-Ni合金めっきしたCu細線におけるMI効果の電析層厚依存性	山口淳 (東工大)
アモルファス磁歪ワイヤのSI効果による高感度応力センサと指先脈波計測	楠本大 (名大)
エッチングアモルファスワイヤのMI効果とマイクロMI磁気センサ	吉永輝政 (ユニチカ)
平面コイルを用いた強磁性構造用鋼の材質変化の非破壊計測実験	海老根典也 (日本原子力研)
非晶質薄膜を下地層としたCo系電析膜の磁気特性に及ぼす熱処理の影響	丸山耕一 (東工大)
表面結晶化した非晶質Fe-Si-B合金薄膜の軟磁気特性に及ぼす張力印加の影響	澤入弘也 (東工大)
Fe基アモルファス薄膜の超高感度歪センシング特性	申光鎬 (東北大)
斜めスパッターCo/Ta ₂ O ₅ グラニュー膜のTMR効果	田中風人 (豊橋技科大)
Feイオン注入Al ₂ O ₃ のトンネル磁気特性	本多茂男 (島根大)
磁気トンネリング素子における絶縁層と磁気抵抗	中谷亮一 (日立)
CoFeBを用いたスピンバルブ膜のGMRに及ぼすB組成の影響	神保睦子 (大同工大)
高密度磁気記録用バリウムフェライト薄膜	森迫昭光 (信州大)
レーザアブレーション法により作製したフェライト薄膜の磁気特性	中野正基 (長崎大)
クラスター堆積法とグラニュー磁性体の合成	石井清 (宇都宮大)
ポリマー中に分散させたコバルト超微粒子の磁気および光学特性	佐藤巧 (豊橋技科大)
半導体基板上にエピタキシャル成長した強磁性MnAs薄膜と半導体(GaAs)中に埋め込んだMnAsナノスケール微粒子の磁気光学特性	ナズムルアーサン (東大)

講演題目	講演者
MnSbPt薄膜の微細構造と磁気光学効果 (PtMnSb相の析出・再結晶と磁気光学構造の波長シフト)	莊司弘樹 (東北大)
フォトリソ結晶中の磁気光学効果増大現象	阿部正紀 (東工大)
1次元磁性フォトリソ結晶	井上光輝 (東北大)
FeRhIr/Fe多層膜の磁気特性	栢修一郎 (東北大)
アモルファス粉末成形体を用いた新しい高周波磁心とその応用	八木正昭 (熊本工大)
ソフト溶液電気化学プロセス (SSEP) による酸化物半導体薄膜の合成	伊崎昌伸 (大阪市立工研)
合金電析における正常共析と異常共析	藤原裕 (大阪市立工研)
Fe ₃ O ₄ 電析めっきの浴組成の影響	西村一寛 (東工大)
Co-フェライト垂直記録媒体のスピン・スプレー法による作製とその磁気記録特性	張福春 (東工大)
Fe-Tb-O電析膜の製膜機構と磁気特性	P. B. Lim (埼玉大)
SmCo薄膜の電着形成と磁気特性	金子智之 (埼玉大)
SmCoスパッタ薄膜の構造と磁気特性	金栄学 (東北大)
無方向性珪素鋼板磁気特性改善の方法	黄 柏英 (琉球大)

3. まとめ

本プロジェクト研究会では、新しい機能をもつスピニクス材料の創製と特性解明を目的として、この分野で優れた成果を上げている研究者と共同して研究を行ってきた。平成10年度は本文中に記したように、多方面の研究者を招聘し、共同研究、研究討議、研究方向の協議など、極めて大きな成果が得られた。しかし1年間という限られた期間内ですべての問題に対して対応するのは困難であった。このため、平成11年度も引き続き本プロジェクト研究を行い、新機能性スピニクス材料の開発、解明、応用に向け努力する予定である。

課題番号 H-10/B-6

マイクロ磁気デバイス・ アクチュエータシステムの研究

1. 概 要

本プロジェクト研究会に先立つ平成9年度の「マイクロ磁気デバイス・アクチュエータの研究」によって、これまで別個に活動していた薄膜インダクタ・トランスなどの静止形マイクロ磁気デバイス研究者と磁気マイクロマシン研究者の情報交換が進み、デバイスやアクチュエータを個別に開発するに留まらず、これを応用したシステムへの展開が重要であるとの基本認識が確認された。

本プロジェクト研究会は、携帯機器用高周波(800MHz-1.9GHz)集積回路用のインピーダンスマッチング用超小形磁性薄膜インダクタ(1nH~20nH、0.5mm²以下、Q>20)をシステムとしての携帯電話に適用するための技術的課題を明らかにすること、並びに生体へのマイクロ磁気センサ・アクチュエータシステムの適用について議論することを中核に、周辺の関連分野も含めて研究会を行った。

2. 共同研究者所属氏名

研究代表者：東北大通研 山口正洋

共同研究者：通研対応教官 荒井賢一

九 工 大 山崎二郎、東北大通研 井上光輝、
名 大 内山 剛、東北大工 大谷義近、
横浜国大 角野圭一、豊橋技科大 川人祥二、
八 工 大 坂本禎智、千葉大工 早乙女英夫、
九 大 工 笹田一郎、信州大工 佐藤敏郎、
東北大科研 島田 寛、早大理工 庄子習一、
電 磁 研 白川 究、岩大工 関 亨士郎、
阪大基礎工 辻本浩章、金材技研 中谷 功、
九 工 大 本田 崇、東北大工 松本英敏、
東北大工 宮崎照宣、熊本工大 宗像 誠、
九産大工 山口 崇、金沢大工 山田外史

3. 研究経過

冒頭に述べた目的を達成するために、本研究会はマイクロ磁気デバイス、磁気マイクロマシンに関する最新の研究成果を討論とともに今後の研究開発の方向を模索するという、2つの目的意識を持って運営された。これを12月に開催した3日間の研究会によって集中的に討議した。

まず12月14日(月)は東北大学電気通信研究所

工学研究会分科会「スピニクス研究会」と共催で4件の依頼講演を開催し、今後の研究開発の指針に関わる議論を行った。

富士電機総研の中澤治雄氏は、静電型、圧電型、電磁型の各種マイクロアクチュエータの特徴と開発動向を統計的にまとめ、現状では静電型主導でマイクロアクチュエータの開発が進んでいる一方で、電磁型アクチュエータには発生力や変位が大きいという特徴があり、これを生かした応用分野を開きうるとの考えを示した。

三菱電機の伊藤康之氏はマイクロ波回路・システムを専門としている。最近の携帯電話、携帯情報端末の進展には目をみはるものがあり、その機器にはインダクティブコンポーネントが多く使われている。マイクロ波回路では磁性材料を使わずにその性能を改善しようと多くの努力がなされてきた。その現状と将来動向から、われわれ磁気を知る者がどのようなアプローチが可能か議論した。参加者から、最近開発された高電気抵抗軟磁性薄膜を用いた磁性薄膜インダクタによってプレイクスルーが期待できるとの見方が提示された。

立命館大学の杉山進教授は、日本におけるLIGA研究で指導的役割を果たしている。磁気に関するマイクロ構造をLIGAで試作した例は欧米に多く日本にはまだほとんど無い。LIGAについての現状を学び、日本における磁気との接点について議論した。

金材技研の中谷功氏は、NH₃+COガスによる導電材料のRIE技術について紹介した。合金磁性体と導電材料の多くは難エッチング材料に属し、RIEはとくにコイル構造の微細加工に有力な手法となることが期待される。

12月15日(火)、16日(水)は電気学会マグネティックス研究会と合同で、一般講演により最近の話題を議論した。以下にプログラムを記す。

磁気マイクロマシンシステム

1. スパイラル型磁気マイクロマシンの泳動特性に及ぼすマシン形状の影響：仙道雅彦(東北大通研)、他
2. 摩擦力及び表面張力を利用した走行型磁気マイクロマシンの試作：作本大輔(九工大工)、他

3. 平面磁路積層形パラメトリックモータの多極化への試み：坂本禎智（八工大）、他
4. Nd-Fe-Bスパッタ薄膜の内部組織の観察：荒木健（三菱電機）
5. マイクロサーボアクチュエータ：梶島武文（安川電機）
6. シリコンマイクロ光学スキャナを用いた小型レーザーディスプレイ：池本善行（日本信号）、他
7. マイクロ磁気デバイスの高機能化調査専門委員会解散報告：山口正洋（マイクロ磁気デバイスの高機能化調査専門委員会）

薄膜材料・微細加工技術とデバイス化

8. (CoFeB) - (SiO₂) 系アモルファス高電気抵抗膜の磁気特性と鉄損：宗像 誠（熊工大）、他
9. 低キュリー温度磁性薄膜の作製および磁気特性：安宅善史（岩手大）、他
10. 高電気抵抗グラニュー膜の微細パターン化とそのGHzインダクタへの適用：末沢健吉（東北大通研）、他

新機能マイクロ磁気デバイス・システム

11. GMR薄膜を用いた薄膜機能素子の提案：辻本浩章（大阪大学基礎工学部）
12. 伝送線路磁気デバイスを用いた周波数変調型磁界センサの試作と特性：池田慎治（信州大）、他
13. MIマイクロ磁気センサの開発動向：内山 剛（名工大）、他

集積化技術

14. SmCo薄膜磁石を用いてバイアス磁界制御を行った高周波キャリア型薄膜磁界センサ：竹澤昌晃（東北大通研）、他
15. 薄膜インダクタを用いたLCフィルタとマイクロ電源：菅原英州（トーキン）、他
16. 薄膜インダクタの作製および半導体デバイスとの集積化：小沢 武（神奈川県産総研）、他
17. アモルファス磁歪薄膜と圧電セラミックス基板をハイブリッド化した磁気弾性デバイス：申光鎬（東北大通研）、他
18. デルタシグマ変調磁界負帰還に基づくデジタル出力マイクロフラックスゲート磁気センサ：川人祥二（豊橋技科大）、他

バルクプレーナデバイス・解析技術

19. 薄膜技術を用いたコモンモードチョークコイル：金子 敏己（福井村田製作所）
20. 積層型コモンモードフィルタの通過特性の検討：津田文史郎（環境電磁技研）、他

21. フェライトトロイダルコアに関する電磁界分布の一解析法：小林宣之（法政大）、他
22. フェライトの誘電率を考慮した平面トランスの巻線容量解析：山口 崇（九産大）、他
23. 重み付き逆行列法による逆問題解析、-電界源探査とその応用-：武居周（法政大）、他
- EMC・測定技術・可視化技術
24. ECT技術を用いたプリント基板検査 -数値解析と画像処理による欠陥判定：谷口哲樹（金沢大）、他
25. 3次元電磁界分布可視化に関する研究、その2 支配的磁界分布の抽出法：宮原晋一郎（法政大学）、他
26. 直流磁界による低速度の測定：田中章雄（宇部高専）、他
27. プリント基板中に作製されたコイル配線の高周波特性：、岩波瑞樹（NEC）、他
28. カレントビューアに関する研究、その2 電流分布のデコンボリューション：青木誠（法政大）、他
29. 磁性流体を使った3コイル角度センサー：深町順一（法政大）、他

4. まとめ

本プロジェクト研究会によって、集積化通信コンポーネントとしてのマイクロ磁気デバイスの進展が著しいこと、新駆動原理に基づくマイクロ磁気アクチュエータが提案され、光スキャナや生体分野等の新分野への適用が図られたことなど、重要な成果が得られた。また、EMC、高周波測定、磁界・磁束の可視化技術も進展している。

その一方で新たなデバイスやマシンの提案とそれらのシステム化、新材料の進展などの新局面に対応するため、次年度に新しい共同プロジェクト研究会を開催し、議論を継続する予定である。

5.2 外国の大学等との学術交流部局間協定締結一覧 (電気通信研究所)

研究課題名	相手先研究機関		本研究所の 研究代表者	協定締結 年 月 日	方 法
	国 名	研究機関名			
磁性体における磁性弾性結合に関する研究	ポーランド	ポーランド科学アカデミー	津屋 昇教授 (荒井賢一教授)	1976.8.3	部局間協定
カオスと乱流	アメリカ合衆国	シカゴ大学 ジェームス・フランク研究所	沢田康次教授	1987.4.27	部局間協定
都市騒音の実態と住民への影響に関する計測と評価の国際比較による研究	タイ	チュラロンコン大学 理学部	曾根敏夫教授	1987.4.28	部局間協定
計算機ネットワーク構築に関する研究	中国	ハルビン工業大学 計算機科学工程系	白鳥則郎教授	1987.6.15	部局間協定
サブミリメートル波の測定に関する研究	イギリス	ロンドン大学 クイーンメアリー・ウェストフィールドカレッジ	水野皓司教授	1990.4.3	部局間協定 (文部省と英国科学工学研究会との学術交流企画に参加)
音響通信に関する騒音の研究	中国	深圳大学 科研処	曾根敏夫教授	1993.2.8	部局間協定
ユーザインタフェースとエージェントの知的化	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	白鳥則郎教授	1995.9.13	部局間協定
超伝導材料と電子素子に関する研究	オランダ	トゥエンテ大学 応用物理学部 材料科学研究所	山下努教授	1998.1.27	部局間協定
超伝導電子通信デバイスの研究	ロシア	ロシア科学アカデミー 通信電子工学研究所	山下務教授	1998.2.23	部局間協定
超伝導ミリ波・サブミリ波デバイスの研究	中国	南京大学	山下努教授	1998.4.16	部局間協定
ニューラルネットワークと知的情報処理に関する研究	韓国	大邱大学校 工科大学	中島康治教授	1998.11.6	部局間協定

5.3 国際活動

区 分		1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	1997年度	合 計
国際的研究集会・学会等への招待者数		4 6	2 7	3 4	3 3	4 4	1 8 4
国際共同研究の実施状況 (件数)		8	1 2	7	1 6	1 7	6 0
外国人研究者 の来訪状況 (人数)	1 か月以上 滞在	1 3	6	8	9	1 1	4 7
	1 週間以上						
	1 か月未満	4	1 1	6	2 0	8	4 9
外国人研究員の受入状況 (人数)		1	8	9	9	4	3 1

1998 IEEE国際超音波シンポジウム

1998 IEEE International Ultrasonics Symposium

国際超音波シンポジウムは、超音波に関する世界最大の学術会議で、物性から応用まで超音波の全分野を対象に毎年開催されており、最先端の情報・技術の交換の場としての役割を担っている。今回は、92年に仙台で開催された弾性表面波の移動体通信への応用を目指した国際シンポジウムの評価もあり、94年のフランス次いで2回目の、アメリカ国外での開催となった。

今回のシンポジウムでは、日本側からは運営委員長の中鉢憲賢名誉教授、論文委員長の山之内和彦教授など本学関係者を初めとした運営委員各位、及び、多くの協賛とボランティアの協力を得て、平成10年10月5日～8日の4日間、ホテルメトロポリタン仙台を会場として開催された。参加者数は29ヶ国から767名、発表件数463件と過去最多で、海外からの参加者が全体の半分以上を占めるなど大盛況となり、また、会場では活発な議論が展開されて充実したシンポジウムとなった。

更に、新しい試みとして、10月5日の午後に3コースに分かれて本学の研究施設見学会（Presentations and Tours）が催された。通研では、弾性表面波デバイスと微細加工技術と題して、フォノンデバイス工学分野（山之内和彦教授）、電子音響集積工学分野（坪内和夫教授）、及び、超高密度高速知能システム実験施設を見学会場に、募集人員を上回る多数の参加者を得て開催され、学術交流と国際親善に貢献できた。

本シンポジウムにより世界中の研究者間の交流、学術、産業の発展につながる世界的貢献がなされたと思われる。

第9回表面振動国際会議報告

A Report on The Ninth International Conference on Vibrations at Surfaces

標記の国際会議が神奈川県葉山町の湘南国際村センターで平成10年10月12日から16日までの間、開催された。この国際会議の主なテーマは表面原子の振動分光を中心とした表面現象のダイナミックスの研究である。赤外分光、電子エネルギー損失分光、ラマン散乱、ヘリウム散乱、非線形光学分光等の手法を使って表面フォノンや吸着分子振動の振る舞いを調べることにより表面の現象と物性を理解しようとする世界の第一線の研究者が集まり、触媒作用、表面化学反応、薄膜形成過程などの研究成果が発表された（招待講演11件、口頭発表29件、ポスター発表91件）。従来この会議は3年毎にヨーロッパとアメリカで開かれてきており、日本で開催されるのは今回が初めてである。今回が第9回目に当たる。近年、日本でもこの分野の研究が盛んになり、日本からの参加者が増えていることから、そろそろ日本で開催してもらえないかという要請を受けて、開催を引き受けた。この国際会議はこれまで参加者が150人規模で運営されてきており、今回も同じ位の数の研究者が集まった。この内、日本以外からの参加者は60人であった。

多くの興味ある発表がなされたが、特に注目を集めた報告は、Ho教授（コーネル大学）によるSTMを用いた単一分子の振動分光である。トンネル接合中に埋め込まれた分子振動の分光を電子トンネリング計測により行う「非弾性トンネル分光」は従来から分子振動を研究する手法として用いられているが、この場合、接合のサイズが分子のサイズよりもはるかに大きいので、単一分子の振動を検出することは不可能である。十数年前に走査型トンネル顕微鏡（STM）が発明されたとき、トンネル接合に代わり、探針と基板からなる分子サイズの接合の間に分子を置き、非弾性トンネル分光と同様の計測を行うことにより単一分子の分子振動が計測できるのではないかといったアイディアはすぐに提案されたが、これまで成功していなかった。Ho教授の仕事はこれを成し遂げたものである。その他、時間分解振動分光を利用した表面反応の動的過程のリアルタイム研究や、振動励起を介した表面脱離や解離で重要な役割を果たす振動励起-緩和過程の直接的な研究についても発表された。

なお、本所からは潮田資勝教授、上原洋一助教授、坂本謙二助手がそれぞれが委員長、委員、幹事を務め、会議運営の中心的役割を果たした。

ナノ構造とナノ微粒子の分光研究に関する 国際ワークショップ報告

A Report on International Workshop on Optical Spectroscopy of Nanostructures and Nanoparticles

固体表面上のナノ構造とナノ微粒子はバルク物質にはない新奇な特性を示すことから、これらのもつ物性の研究は近年活発に行われている。話題を分光学的なものに絞り、標記の国際ワークショップを神奈川県葉山町の湘南国際村センターで平成10年10月11日から12日に開催した。本国際ワークショップは科学技術振興事業団・戦略的基礎研究推進事業「量子効果等の物理現象」の一環として行われたもので、潮田チームによって運営された。参加者は国内から25名、国外から10名であった。議論された内容は以下のようなものである。本所の潮田教授によるSTM発光分光を中心としたイントロダクトリー・トークの後、宮野教授（東京大学）により強相関係の微細構造のもつ物性（量子化コンダクタンス、光誘起の絶縁体・金属相転移）について報告がなされた。Burstein教授（ペンシルバニア大学）により、固体表面に吸着した分子と基板との交換相互作用のために生じる分子の三重項状態からの発光について議論がなされた。Alverado博士（IBMチューリッヒ）は半導体表面のSTM発光計測について、Berndt教授（アーヘン大学）は金属表面のSTM発光計測について彼らの仕事を中心に発表を行った。村下氏（NTT）は彼らの考案したSTM発光集光手法について発表を行った。菅原助教授（大阪大学）は走査型光顕微鏡配置におけるプローブと基板との相互作用力を原子間力顕微鏡で検出する試みについて発表した。田丸助手（東京大学）は球状微粒子の全反射領域におけるレーザー励起発光について報告した。宮崎助手（東京大学）はフォトリソバンド結晶の作製方法とその光学的な特性について報告した。本所の上原助教授はAu(110)-(2x1)表面で0.4nmの探針位置の違いにより発光スペクトルが異なることを報告した。本所の岩見COE研究員は銀の探針による、銀ナノ構造の作製とSTM発光によるその場観察について報告した。最後に各報告についてMills教授（カリフォルニア大学）により、理論家の立場からのコメントがなされた。

第1回Japanese-American Frontiers of Science Symposium

（日本側運営委員 大野英男）

Japanese-American Frontiers of Science Symposium は、日米の科学に携わる45才以下の研究者を集め、多種多様な最先端の分野の研究発表を聞き全員で討論を行うという、研究者として確立した日米の若手の交流を図る目的の、ちょっと風変わりなシンポジウムである。第一回目の今回は、米国のカリフォルニア州アーバインにあるアメリカ科学院のBeckman Centerで、1998年8月21-23日に開催された。1996年にアメリカ側からの提案を受けて企画されたもので、科学院と科学技術庁・科学技術振興事業団の共催である。同様の会議は米独・米中間で開催されている。参加人数は日米それぞれ40名、計80名（全て招待）、シングルセッションでセッション数は8、それぞれ2時間のセッションでは、最初、運営委員会で選ばれたテーマについて数名の研究者が発表し、最後の45分は質問を含む自由討論である。第一回の今回選定されたテーマは、Applications of Physics to Topology（数学）、Biological Clock（生物）、Composite Fermions and Bosons（物理）、Femto-Chemistry（化学）、Genetics: Nature vs. Nurture（生物）、Functional Genomics（生物）、Large Ground Based Telescopes（地球物理）、Mass Extinction and Recovery（生物）と、各分野のフロンティアを網羅した。英語で専門外の話について丁々発止とやりとりするので、なかなか大変であると予想したが、日本側のスピーカも発表が極めて上手で、討論も活発であった。第二回は、1999年10月1-3日につくば市で開催される。

5.4 COE研究員および学振特別研究員

COE非常勤研究員（1998年度）

氏 名	任 用 期 間	研 究 内 容
金 相 幸	H.10.4.1～H.11.3.31	電子ビーム照射によるシンコン上YBCOジョセフソン接合に関する研究
岩 見 正 之	H.10.4.1～H.11.3.31	走査型トンネル電子顕微鏡を用いた表面物性の研究
石 芸 慰	H.10.10.1～H.11.3.31	赤外伝送路の研究
小野美 武	H.10.4.1～H.11.3.31	磁束量子論理集積回路に関する研究
鈴木 章 夫	H.10.8.1～H.11.3.31	視覚形態情報処理の研究

COE外国人研究員（1998年度）

氏 名	任 用 期 間	研 究 内 容
CHAFRANIOUK SERGUEI サフランジェツク セルゲイ	H.10.4.1～H.11.3.31	酸化物超伝導体単結晶の磁束量子運動に関する研究
GREAVES SIMON JOHN グリーブス サイモン・ジョン	H.10.4.1～H.11.3.31	超高密度ストレージのための巨大磁気抵抗効果に関する研究

日本学術振興会特別研究員(PD) (1998年度)

氏 名	任 用 期 間	研 究 内 容
大 内 則 幸	H.8.4.1 ~ H.11.3.31	非線形解放系における自己組織化と階層化のモデル化及び統計的性質

日本学術振興会特別研究員(DC) (1998年度)

氏 名	任 用 期 間	研 究 内 容
竹 澤 昌 晃	H.10.4.1 ~ H.12.3.31	高感度マイクロ磁気センサに関する研究
渡 辺 健	H.10.7.1 ~ H.12.3.31	N族半導体原子層超格子構造の形成とその応用に関する研究
伊 藤 真	H.11.1.1 ~ H.13.3.31	新皮質－海馬における記憶システムの研究
山 本 裕 司	H.11.1.1 ~ H.13.3.31	金属薄膜の原子層成長制御とその応用に関する研究
岸 本 修 也	H.11.1.1 ~ H.13.3.31	二重量子井戸構造を用いた低次元電子系間のトンネル現象に関する研究
築 館 厳 和	H.11.1.1 ~ H.13.3.31	シリコンガスリースMBEにおけるドーピング機構と原子オーダー制御
川 島 貴 之	H.11.1.1 ~ H.13.3.31	フォトリソグラフィ結晶の作製とその応用に関する研究

日本学術振興会外国人特別研究員 (1998年度)

氏 名	国 籍	受 入 期 間	研 究 内 容
NAERT ANTONE	フランス	H.9.4.1 ~ H.9.9.30	大自由度複雑系の普遍法則

第 6 章 シンポジウム

6.1 通研シンポジウム

電気通信研究所では所内及び工学部電気・情報系教官が中心となり、最近の研究の最先端の基礎科学、基礎技術に関する問題をテーマとしてシンポジウムを毎年開催している。講師には国外を含む所内外の第一線の研究者を迎え、多くの参加者を得て活発な討論の場となっている。

第3回東北大学電気通信研究所国際シンポジウム 「ミリ波革新技術とその応用」

(主催) 東北大学 電気通信研究所

(後援) 文部省、宮城県、仙台市、電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ

(開催期間と会場) 1998年12月14日～12月15日 (2日間) 仙台国際センター

(主要課題と主たる講演者) ※Organizing Committeeを除く

- a. ミリ波デバイス、D. Budimir, K. Wu, R. Sorrentino, Y. Ito
- b. ミリ波革新技術、G. Rebeiz, D. Rutledge, W. Menzel, F. Kuroki, T. Tokumitsu
- c. ミリ波フォトリクス、D. Jaeger, D. Novak, K. Kato, M. Tsuchiya
- d. ミリ波新応用、Y. Wang, Y. Ishikawa, Y. Haso, T. Brogtrop

(シンポジウムの概要)

情報化社会の進展に伴い、ミリ波技術開発とミリ波利用に関する環境が急激に変化している。増大する情報量に対応した超高速ワイヤレス通信や高分解能・高効率のセンサーが求められ、未開拓周波数であるミリ波の超広帯域性、準光学性が脚光を浴びている。しかし、ミリ波技術開発は室内無線LANなど応用に関する話題が先行し、技術開発がなかなか進歩しない傾向がある。これはMMICなどのミリ波先端技術とミリ波応用に適した技術が直接結びつかない点が一因として挙げられる。

本国際シンポジウムは、このような背景においてミリ波研究開発を効率的に進める為に、ミリ波伝送、デバイスなど個々のミリ波技術開発の有機的な連携を図ること、及び新しいミリ波技術、ミリ波応用の可能性を探ることを目的とした発表・討論が行われた。ミリ波に関して基礎から応用まで統一して取り扱った国際シンポジウムは他に例がなく、ミリ波技術革新とその応用に関する討論、情報交換を専門家が一堂に会して行うことで、ミリ波技術開発の方向性が明確となった。

(シンポジウムの構成)

論文数22件 (国外招待講演11件、国内招待講演11件)

(参加国および参加者数)

日本、台湾、英国、カナダ、イタリア、米国、ドイツ、オーストラリア、中国、ニュージーランド
オランダ、スウェーデン、ウクライナ、韓国

国内参加者			国際参加者			合計
招待講演	一般参加	計	招待講演	一般参加	計	106人
11人	70人	81人	11人	14人	25人	

(委員会委員の構成)

Symposium Chair : 米山 務 東北大学 電気通信研究所

Organizing Committee :

相川正義	佐賀大学 工学部	小川博世	郵政省 通信総合研究所
ベイ鐘石	東北大学 電気通信研究所	大森慎吾	郵政省 通信総合研究所
本城和彦	日本電気 光超高周波デバイス研究所	澤田康次	東北大学 電気通信研究所
伊藤龍男	カリフォルニア大学ロスアンゼルス校	澤谷邦男	東北大学 工学部
水野皓司	東北大学 電気通信研究所	塩川孝泰	東北大学 工学部

Secretariat : 中條 渉 東北大学 電気通信研究所

6.2 工学研究会

東北大学電気通信研究所，東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が相互に連絡・協力し合うことによって，学問的・技術的問題を解決し，研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため，専門の分野に応じて次のような分科会を設けて，学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話会記録に抄録されている。

	研 究 会 名	主 査	幹 事	発 足 年
1	伝送工学研究会	澤谷教授	陳強助手	1950年頃
2	音響工学研究会	曾根教授	木幡助教授 高根助手	1950年頃
3	仙台「プラズマフォーラム」 (旧名称 プラズマ研究会)	佐藤（徳）教授	畠山助教授	1993年 (1986年)
4	EMC仙台ゼミナール	根本教授	曾根助教授	1986年
5	コンピュータサイエンス研究会	阿曾教授	中野助教授	1986年
6	システム制御研究会	阿部教授	吉澤助教授	1986年
7	電子ビーム工学研究会 (大電力マイクロ波ミリ波研究会)	横尾教授	佐藤（信）助手	1995年 (1987年)
8	放射光工学研究会	庭野教授	末光助教授	1987年
9	テラヘルツ工学研究会 (旧名称 ミリ波デバイスと半導体プロセス技術研究会)	水野教授	褓 助教授	1993年 (1989年)
10	スピニクス研究会 (旧名称 磁気工学研究会)	高橋（研）教授	莊司助教授 丹助手	1992年 (1990年)
11	表面・界面工学研究会	潮田教授	上原助教授	1991年
12	ブレインコンピューティング研究会	沢田教授		1992年
13	超伝導工学研究会	山下教授		1993年
14	超高密度・高速知能システム工学研究会	水野教授	鈴木（光）助教授 中島（健）助教授	1994年
15	ニューパラダイムコンピューティング研究会	樋口教授	羽生助教授	1995年
16	超音波エレクトロニクス研究会	山之内教授	金井助教授	1995年
17	情報・数物研究会	堀口教授	林 助手	1998年
18	インテリジェントマルチメディア 電子システム・デバイス研究会	大見教授	坪内教授	1998年

伝送工学研究会

伝送工学研究会は、最も長い歴史をもつ研究会であり、平成10年12月の時点ですでに419回を数えている。本研究会は、電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究を目的としており、放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの招待講演や研究報告を行ってきた。今年は学内から13件、学外から8件の発表論文が寄せられ、研究討論が活発に行われた。また、学術講演会も5回（8件の講演）開催され、それぞれ最新の研究動向と成果が報告された。

主 査 宮城 光信
幹 事 松浦 祐司

音響工学研究会

音響工学研究会は、音波、固体振動、超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し、討論や意見交換をする場として、1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は、電気音響、聴覚・心理音響、建築音響、騒音制御、デジタル補聴器、音声分析・合成、音声認識・理解、音環境工学など、多岐にわたっている。

1998年度は、主査曾根敏夫教授、幹事高根昭一助手、鈴木基之助手のもとで、研究会4回（第297回～第300回）と通研講演会1回が開催された。会場は、全て本学電気通信研究所大会議室であった。なお、第298、300回は、超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催された。

第297回音響工学研究会は、1998年5月21日(木)に開催され、研究発表4件、参加者は32名であった。第298回音響工学研究会は、1998年7月16日(木)に開催され、研究発表6件、参加者58名であった。第299回音響工学研究会は、1998年10月9日(金)に開催され、研究発表2件、参加者28名であった。第300回音響工学研究会は、1999年1月28日(木)に開催された。研究発表2件に引き続き、音響工学研究会の第300回を記念した2件の講演がなされた。まず、曾根敏夫主査から本研究会の歴史について講演があり、その後で、本学城戸健一名誉教授から、「私の見てきた音響工研の発展」という題の講演があった。研究会の参加者は、71名であった。研究会の後に、音響工学研究会の第300回を祝した懇親会が開かれた。通研講演会は、1999年2月10日(木)に開催され、熊本大学の江端正直教授から、「聴覚における定位研究の動向」という題の講演があった。参加者は30名であった。

仙台 “プラズマフォーラム”

本研究会においては、プラズマ、放電、核融合、その他のプラズマ応用の最新の研究成果に関して、特別講演及び特別企画を催すとともに、刺激的な研究討論と研究発表を行うことを目的とする。

以下に、1998年度の活動概要を記する。

学部学生を中心とする、既刊論文に基づいたプラズマ生成、閉じ込め、加熱、計測及びプラズマ応用に関する“研究討論会”を5回開催。

大学院生及びスタッフを中心とするプラズマ計算機シミュレーション、プラズマ中の波動及び不安定現象、プラズマ電位形成、MPDアークジェットプラズマの生成と計測、プロセス用プラズマの生成と制御、微粒子プラズマの挙動解明、フラレンプラズマ現象に関する“研究発表会”を3回開催。

国外研究者による、「Plasma Pretreatment of GaAs Substrates and ECR-PAMOCVD of Cubic GaN」AC「Phase Changes and Thin Film Deposition using Dense Plasma Focus Device」の研究講演会を2回開催。

国内研究者による、運動論的アルフェン波の実験的研究、プラズマプロセスの課題、プラズマの閉じ込め、加熱、加速の実験、LHD（大型ヘリカル装置）における最新成果等に関する“特別講演会”を2回開催。

「共同プロジェクト」フラレンとプラズマ関連研究討論会、PDP（プラズマディスプレイパネル）放電研究会の“特別企画”を3回開催、専門講習会（プラズマ応用の基礎）を1回開催。

以上において、参加者は専門講習会（約100名）を除いて常時50名前後であった。

EMC仙台ゼミナール

EMC（環境電磁工学）は、電磁ノイズと信号の電磁干渉（EMI）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野である。今日では、電気工学分野の研究者と技術者は、なんらかの形でEMC問題に関わらざるを得ない。この問題がわが国で知られるようになって間もなく、1977年2月に、EMCにいかに関与すべきであるかを調査し、学問として体系化する目的で、「EMC仙台ゼミナール」が発足した。この活動は、誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであると言え、世界にEMC研究の方向を示し実践してきた。また、ここで討論された先進的な研究の成果はわが国や世界のEMC研究の牽引力の役目を果たしている。たとえば、電磁界環境の定量的測定、ノイズ源のモデル化と耐ノイズ性試験法、耐ノイズ性信号伝送システムなどについて、独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。

1998年度には、第159回（12月14日）と第160回（3月10日）の2回の研究会を開催し、1件の特別講演「システムEMCへの技術的課題」（仁田 周一先生）を含む、5件の講演・研究発表があった。研究発表の主な話題は、放電による電磁ノイズの発生機構のモデル化、EMC技術の現状と課題などである。

コンピュータサイエンス研究会

コンピュータサイエンス研究会は、国内外で活躍する研究者を講師に招き、コンピュータサイエンスにおける最新の研究成果、話題について講演会を開催し、通研及び電気・情報系に所属する研究室の学問の交流を図ることを目的としている。

1998年度は、6月1日の第82回講演会に始まり、3月12日の第84回講演会まで、国内外から3名（内海外から2名）の講師を招待し、3回の講演会が行なわれた。まず、コンピュータサイエンスの主テーマの一つであるアルゴリズムの解析手法に関して、C. Pandu Rangan 教授（Indian Institute of Technology, Madras）による“A closer look at the backward analysis and its applications”の講演が行なわれた。ランダム化アルゴリズムを解析するための強力な道具であるbackward analysis がブラックボックス的に使われている現状を反省し、この解析手法の本質を解明し、ランダム化アルゴリズムの重要なクラスであるインクリメンタルアルゴリズムの解析への適用方法が説明され、アルゴリズムの解析手法や対象問題に関して活発な議論が行なわれた。また、グラフの描画アルゴリズムに関して、Hubert de Fraysseix 研究所長（National Scientific Research Center, France）による“Topological aspects of orientations”、中野眞一助教授（群馬大学工学部情報工学科）の「グラフの自動描画」（通研講演会と共催）の講演が行なわれ、グラフの描画で利用される辺の向き付けに関する位相幾何学的側面や、グラフの自動描画に関する研究の動向と具体的な格子直線描画、直交描画、矩形描画アルゴリズムについての理解を深めた。

本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演を基に、活発な討論、意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

本研究会は、システム制御における、理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。本年度は、下記のように、11人の講師を招き、7回の研究会を開催した。

1) 三菱電機エンジニアリング(株) 取締役、メディアシステム事業部長 里見勝康氏（演題：情報化社会の過去、現在、未来、共催：大規模システム工学研究会Ⅱ（JR東日本寄附講座））、2)（第1部）東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻助教授 伊庭齊志氏（演題：進化論的手法の最近の話題）、（第2部）神戸大学工学部情報知能工学科教授 北村新三氏（演題：重点領域研究「創発的機能形成のシステム理論」を終了して）、3) アプライド・AI・システムズ社社長 五味隆志氏（演題：新ロボット技術の実世界応用、共催：大規模システム工学研究会Ⅱほか）、4) 広島大学工学部第1類(機械系) 教授 佐伯正美氏（演題：特殊なH無限大問題の極配置、主催：日本機械学会 機械力学・計測制御部門、共催：計測自動制御学会東北支部）、5)（第1部）三菱電機(株) 産業システム研究所 安部恵介氏（演題：産業分野における組合せ最適化技術の動向）、（第2部）(株) ドーシス 交通システム技術部 仲谷善男氏（演題：ITS（高度道路交通システム）研究の動向—過去、現在、未来—、主催：1部、2部とも大規模システム工学研究会Ⅱ）、6) Kangwon National University, Korea, Boohee Nam 教授（演題：Wavelet Transform and its Applications）、7) 研究発表会「時系列信号から何がわかるか」、(1) 講演：東京大学 医学系研究科助手 阿部裕輔氏（演題：人工心臓動物における生体信号のゆらぎと制御）、(2) 東北大学 加齢医学研究所助教授 山家智之氏（デモンストレーション：人工心臓制御ロジック確立のための生体血管運動解析システム）、(3) 講演：北海道大学 工学研究科助教授 郷原一壽氏（演題：ダイナミカルシステムのフラクタルな応答）、(4) 研究発表：東北大学医療技術短期大学部助教授 本間経康氏ほか（演題：カオスダイナミクスの推定法—RNNによる同定とカオス時系列推定による試み）。

電子ビーム工学研究会

本研究会は、近年における基礎科学分野から工業分野にわたる広い方面でのミリ波～サブミリ波領域の大出力電磁波源の開発要求をうけて、大出力マイクロ波・ミリ波源を中心とした基礎的、技術的諸問題を採り上げ、議論を重ねることを目的として、1978年に「大電力マイクロ波・ミリ波研究会」として設立された。そして、最近の極微細冷陰極の研究開発の進展や、これに伴う真空マイクロエレクトロニクスといった新たな研究分野も視野に入れて、1995年より名称を「電子ビーム工学研究会」と変更してこれまで研究会の活動を行ってきた。平成10年度においては、大出力のミリ波～サブミリ波源の開発とその応用に関して、FELと大Power Radiationに関するTopical Meetingおよび核融合科学研究所共同研究「ミリ波加熱技術」と共催で研究会を開催した。以下に平成10年度に開催された研究会で発表、討議された主なテーマを記す。

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| ○プラズマのECH | ○テーブルトップ電子蓄積リング |
| ○遠赤外領域でのFEL | ○真空紫外域でのFEL |
| ○光混合電界放射を用いたTHz帯電磁波の発生 | ○結晶中を通過する荷電粒子による電磁放射 |
| ○スミス・パーセル型FEL | ○超伝導リニアックを用いた自由電子レーザ |
| ○クロマシティ補正による蓄積リング電子ビームの改善 | ○SASE FEL |
| ○FELのビームプロファイルおよび同時分配システム | ○RF電子銃のビーム特性解析 |
| ○誘導加速器を用いたFELおよび大出力後進波発振 | ○高温超伝導レンズによる電子ビーム収束 |

放射光工学研究会

本研究会は、シンクロトロン放射光（以下「放射光」という。）を用いた材料創製・加工や物性評価に関する技術的諸問題を討論する目的で活動を行っている。放射光を用いた評価分析技術の開発、放射光リソグラフィやLIGAプロセスなどの微細加工技術の開発、光励起表面反応過程の解明や光励起プロセスの研究などを研究討論のテーマとしている。本研究会は昭和62年4月に第1回研究会を開催して以来、これまでに通算38回の研究会を開いてきた。全国の放射光施設の第一線の研究者を招き、特別講演会も多数回開催してきた。本年度は、講演会、研究会を4回開催し、飯田厚夫氏の通研講演会を開催した。講演会の題目は以下のとおりである。光電子分光法、赤外分光法等を用いた固体表面・界面電子状態や表面化学反応の研究についての成果発表が行われた

- [第39回] 「ジョセフソン効果の精密計測への応用」(吉田 春雄 アドバンテスト研究所 研究主幹)
- [第40回] 「A g/G a A s 界面の光電子分光」 庄子大生、篠原正典、遠田義晴、庭野道夫 (東北大通研)
「光電子分光によるメゾスコピック系ナノ構造の電子物性」 田中章順 (東北大院理、物理)
- [第41回] 「S i 表面化学反応過程の赤外分光その場解析」 庭野 道夫 (東北大通研)
「C V D 成長ダイヤモンドの超高真空中電子分光」 河野 省三 (東北大科研)
「放射光X線イメージング技術とその応用」(通研講演会)
飯田 厚夫 (高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 研究主幹)
- [第42回] 「表面カインेटイクス分析手段としての真空紫外光電子分光法
ーシリコン表面の成長・酸化過程“その場”観測ー」 遠田 義晴 (東北大通研)

テラヘルツ工学研究会

本研究会は、テラヘルツ領域の技術開発を目的として設置されたもので、実用的な技術開発のガイドを得るための講演会及び研究をさらに押し進めるための議論の場としての研究会の二種類を開催している。1998年には前者について7件、後者について6件の講演、討論の機会を得、これまで通算51回の研究会を行ったことになる。以下に全体のまとめを記す。

テラヘルツ（サブミリ波）領域の技術は、長年その開発の必要性が言われてきている。しかし、今までこの領域の技術は、あまりにもその未開拓であることが強調され過ぎ、その為この領域の技術開発に甘えがあったように思う。むしろ、光と電波（マイクロ波）の両領域の中間に位置するこのスペクトルには、それら両領域からの延長として様々な多くの技術が存在し、各種技術は1970年代に核融合プラズマの研究に刺激されて大きく進歩した。それらの技術が現在真の意味で実的なものになっていない理由は、実は明確な応用分野が存在しないからであろう。新材料の評価・分析、分光学、超高密度プラズマの測定等、従来からの応用分野にとっては、既存の技術でほぼその要求を満足し得るように思われる。

しかし、将来の通信分野への応用を考えると、その要求は格段に厳しいものとなる。ここでの通信は、テラヘルツ波のみによるものではなく、光通信との組み合わせ、テラヘルツ・フォトリクスとでもいうべき分野であり、これは未来社会におけるインフラストラクチャ構築に重要な役割を果たすと思われる。この時必要とされるテラヘルツ波技術は、実的に極めて高度のもので、この技術開発に際し良いガイドになるのは、現在の高度に発達したマイクロ波領域の技術である。誤解を恐れずに云うならば、本来、実用に耐える技術は非常に「保守的」なもので、地道な努力、つまりマイクロ波、ミリ波、そしてテラヘルツ波へと連続して開発されて行くものではないだろうか。この時、テラヘルツ領域デバイス開発の指針は次のキーワードに要約されるだろう：常温・高速動作、コヒーレント光、cw、そして tunable であること。

スピニクス研究会

スピニクス研究会は、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野であるスピニクスに携わる多くの研究者間の情報交換・討論の場として1990年に発足した。現在登録会員数は産学官合計で350名を超えている。本研究会は、例年スピニクスに関する最新の話題に関する3件程度の依頼講演による研究会、萌芽的研究も含めた一般公募による特別研究会および東北大学博士論文特集報告会を行っている。加えて、本研究会はIEEE、電気学会、電子情報通信学会、日本応用磁気学会などの各種学会活動の東北地区における受け皿としても機能している。

本年度は依頼講演による研究会を、電気通信研究所にて3回、工学部青葉記念会館で1回、一般公募による特別研究会を山形大学工学部にて1回開催した。特別研究会では、物性、材料、デバイス、ストレージ等の幅広い分野にわたって合計30件の講演が2日間にわたって議論された。この特別研究会の参加者は70名を超え、スピニクス研究会に対する期待の高さを改めて明確にした。

本年度の運営は、主査：松木英敏教授（電気）、幹事：山口正洋助教授（通研）、角田匡清助手（電子）、企画幹事：村岡裕明助教授（通研）、井上光輝助教授（通研）、大谷義近助教授（材料物性）、家名田敏昭助手（電気）、岡本聡助手（科研）で行った。

表面・界面工学研究会

ここ20年の表面科学の長足の進歩により表面界面に特有な物性現象が数多く発見されている。また、分子線エピタキシー技術を代表とする薄膜成長技術の進歩は原子層オーダーで制御された超格子のような人工物質の作製を可能にし、そこでも新しい表面界面物性の発現が観測され、その工学的な応用が活発になされている。表面界面工学研究会は表面界面でみられる興味深い物性やその応用について議論し、表面界面物性の工学的応用について研究することを目的として、毎年幾人かの研究者をお呼びし、研究会を開催している。今年は10月11日＝12日に開催されたナノ構造とナノ微粒子の分光研究に関するワークショップ (Optical Spectroscopy of Nanostructures and Nanoparticles) を共催した。プログラムを以下に示す。

Oct. 11 S. Ushioda “Introduction and overview; STM light emission spectroscopy of surface nanostructures” K. Miyano “Local transport and insulator/metal transition in correlated electronic systems” Oct. 12 E. Burstein “Metal-proximity induced luminescence of C60 molecules” S. Alvarado “STM-excited electroluminescence studies of semiconductors and organic materials” R. Berndt “STM-based optical imaging and spectroscopy of metals and molecules” Y. Sugawara “Probing the optical near-field with a noncontact cantilever” T. Murashita “Conductive transparent fiber tips for STM luminescence spectroscopy” H. Tamaru “Observation of optical couplings between probe, microsphere and substrate using forbidden-light scanning near-field optical microscope” H. Miyazaki “Photonic band gap in micrometer-sized sphere arrays” Y. Uehara “STM light emission spectra of atomically resolved Au(110) 2x1 surface” M. Iwami “Deposition of Ag dots on Si(111) using a Ag STM tip” D. L. Mills “Theorist’s Comments and Advice”

ブレインコンピューティング研究会

1. 会の目的

情報化社会の肥大化に伴い、情報処理システムの硬直性の顕在化が社会の危機管理と関連し大きな問題となっている。その硬直性を打破するため、脳機能の生理学的研究を基礎に超並列ブレインアーキテクチャを確立し、それをマイクロチップ化するまでの技術を一貫して研究し、緊急の判断と柔軟な対処を要求する社会的危機管理に資する高次情報処理システム（ブレインコンピュータ）を開発することが望まれている。

そのため本研究会においては、生体機能に学ぶ自律分散制御、電気生理学実験による脳機能の解明、しきい値理論などに基づくブレインアーキテクチャの確立、及びそのシステム開発を目的として、全国の生体情報工学、非線型物理学、神経回路網理論、半導体・超伝導体集積回路の研究分野の研究者の意見交換をし、それらの有機的結合によりその目的を達成する。

2. 1998年度の活動概要

平成11年3月16日（火）午後1時30分より東北大学電気通信研究所中会議室において、筑波大学電子・情報工学系・森田昌彦氏を招いて「時系列の学習・記憶の計算論」と題して講演会並びに研究会を開催し、神経細胞のモデルを従来の単調増加かつ飽和特性を持つものから、非単調な入出力特性を持つモデルへと拡張して、その上で実現できる情報処理機能について討論を行った。参加者数は約30名であった。ブレインアーキテクチャを実現する上で、従来用いられてきた神経細胞モデルでは難しいとされる任意の時系列パターンの記憶を獲得することが要望されており、講演されたモデルを導入することでこれらの記憶が可能でことが示され、また、その動作原理の定性的な説明がなされた。さらに、生理学的なデータを説明するモデルとしての可能性についても述べられ、活発な議論が行なわれた。

超伝導工学研究会

本研究会は、超伝導の工学応用に関して材料、デバイス、プロセス技術など幅広い分野にわたる最新の研究に関する討論と研究開発動向の調査を通して超伝導応用の推進に資することを目的に平成5年度に設立された。このような趣旨から内外の講師をお招きし平成10年度は7回を開催した。研究会の開催日時、場所、講演件数及び講演者は以下のとおりである。

- 第25回 平成10年5月22日（金） 東北大学電気通信研究所 2号館4階・大会議室 10件
王華兵（JST研究員, JST東北大グループ）、植松裕（東北大学大学院工学研究科）、立木隆（東北大学大学院工学研究科）、陳健（東北大学電気通信研究所・助手）、Y.Latyshev（東北大学電気通信研究所・客員助教授）、S.E.Shafranjkuk（東北大学・通研・COE研究員, JST東北大グループ）、田中功（山梨大学・工・助教授）、大矢銀一郎（宇都宮大学・工・教授）、中島健介（東北大学・通研・助教授）、町田昌彦（日本原子力研究所・研究員）
- 第26回 平成10年7月24日（金） 茂庭荘（仙台市太白区茂庭） 4件
吉田春雄（アドバンテスト研究所）、吉田啓二（九州大学大学院）、松原洋一（日本大学・理工学部）、岡井大祐（山形大学工学部）
- 第27回 平成10年9月4日（金） 電気通信研究所 2号館4階大会議室 2件
Christian Helm（Physics Department, Regensburg University, Germany）、小柳正男（電子技術総合研究所 主任研究官）
- 第28回 平成10年11月6日（金） 東北大学電気通信研究所, 2号館4階中会議室 6件
T. Yamashita（NICHe, RIEC, Tohoku Univ.）、Y. Latychev（RIEC, Tohoku Univ., Institute of Radio-Engineering and Electronics, RAS, Moscow）、I. Iguchi（Tokyo Institute of Technology）、C. K. Ong（National Univ. of Singapore）、M. Mukaida（Yamagata Univ.）、J. Chen（RIEC, Tohoku Univ.）
- 第29回 平成10年11月27日（金） 東北大学電気通信研究所、2号館4階大会議室 3件
Norio Terada（Electrotechnical Laboratory, Japan）、Lev Boulaevskii（Los Alamos National Lab., USA）、Sergei Shafranjkuk（RIEC, Tohoku Univ., Japan）
- 第30回 平成11年2月25日（木） 東北大学電気通信研究所、2号館4階大会議室 1件
櫻庭順二（住友重機械工業（株）総合研究所）
- 第31回 平成11年3月24日（水） 東北大学電気通信研究所、2号館4階大会議室 1件
Niels Falsig Pedersen（Dept. of Physics, Technical University of Denmark）

超高密度・高速知能システム工学研究会

本研究所では、極微細構造電子回路加工技術を発展させると共に、極微新機能電子デバイスの開発と、それらの性能を十分に活用して高度な知的処理を行い得る超高密度・高速知能システムを構築することを目的として、超高密度・高速知能システム実験施設を平成6年度に新設した。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広く超高密度・高速知能システムに関連した科学技術に関して十分論議することを目的としている。

平成10年度は以下の講演会を実施した。なお回数は本研究会発足よりの通し番号である。

- 第17回 平成10年4月15日 「Ferromagnetic transition in structures of diluted magnetic semiconductors」
Prof. Tomasz Dietl（Institute of Physics and College of Science, Polish Academy of Sciences）
- 第18回 平成10年6月24日 「Si結晶の過去・現在・未来」
阿部 孝夫（信越半導体（株）半導体磯部研究所）
- 第19回 平成10年8月17日 「Surface Roughness Development」
Prof. Jacques Derrien（マルセイユ大学）
- 第20回 平成10年8月10日 「量子計算の実現に向けて——その現状」
竹内 繁樹（三菱電機（株）先端技術総合研究所）

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査 樋口龍雄 幹事 羽生貴弘

第12回

日時：平成10年1月30日（金）15：00～16：30

場所：東北大学電気情報館 4 階451号室

特別講演

演 題：「Axiomatization of Functional Entropy」

講演者：Dan A. Simovici (University of Massachusetts at Boston, USA)

第13回

日時：平成10年6月19日（金）13：30～14：30

場所：東北大学工学部電気情報館4階、451・453号室

特別講演

演 題：「Ferroelectric Memories : Design and Modeling」

講演者：Mr. Ali Sheikholeslami (Univ. of Toronto, Canada)

第14回

日時：平成10年11月17日（火）14：40～17：00

場所：東北大学工学部電気情報館 3 階、350号室

特別講演

A：14：40～15：40

演 題：「非線形デジタル信号処理の研究の変遷と将来」

講演者：田口 亮 先生 (武蔵工業大学工学部 助教授)

B：16：00～17：00

演 題：「低演算量のデジタルフィルタ構成～信号語分割フィルタ～」

講演者：西原 明法 先生 (東京工業大学 教育工学開発センター 教授)

第15回

日時：平成10年11月20日（金）15：00～17：25

場所：東北大学工学部電気情報館 4 階、451・453号室

特別講演 15：00～16：00

演 題：「画像再構成と 3 次元透視システム」

講演者：田山典男 (岩手大)

研究発表 16：00～17：25

1. 「多入力積和演算器の動的再構成に基づく立体画像記憶用機能メモリの構成」 藤岡与周 (八戸工大)
2. 「最適並列メモリアクセスに基づくモーションステレオ VLSI プロセッサの構成」 張山昌論 (東北大)
3. 「進化論的デジタルフィルタの並列 DSP 上での実現」 阿部正英 (東北大)

第16回

日時：平成10年12月21日（月）13：30～14：30

場所：東北大学工学部電気情報館 4 階、451・453号室

特別講演

演 題：「多値論理応用を目指した新デバイスの開発」

講演者：馬場寿夫、植村哲也 (NEC 基礎研究所 (ナノシステム))

第17回

日時：平成11年3月6日（土）15：30～17：00

場所：東北大学工学部電気情報館 4 階、451・453号室

特別講演

演 題：「社会情報システムの実現に向けて」

講演者：星久光 ((株) NTT データ)

超音波エレクトロニクス研究会

超音波エレクトロニクス研究会は、固体中及び固体表面の超音波の発生・受信・伝搬特性の解明と材料の研究、及びそれらを電子通信工学へ応用する研究について討論・意見交換を行う場として、平成7年度から発足した研究会である。本年度は主査山之内和彦教授、幹事山田顕助教授、長康雄助教授のもとで、5回の研究会と2回の講演会が開かれた。各回の研究会の内容は以下のとおりである。

第1回目は、音響工学研究会と合同で開催され、フッ素をドーピングした石英ガラスの超音波マイクロスペクトロスコピー、VHF帯におけるサローの縦波・横波音響特性、超高周波平面超音波を用いた液体の非線形パラメータの比較測定法、直線集束ビーム超音波顕微鏡による光導波型デバイス作製システムの評価などについて研究発表があった。第2回目は、石英ガラスの音響特性のOH基含有量依存性、フリップチップ実装型STWフィルタの周波数安定性に関する検討などについて研究発表があった。第3回目は、弾性表面波デバイス用高耐電力電極膜、斜め電極指SAWフィルタの低損失化、超音波により計測されたアドリアマイシン心筋症家兎心筋の微小運動速度の周波数解析、バルク超音波パルス干渉法による音速測定における回折の影響、フッ素をドーピングした石英ガラスの超音波キャラクターゼーションについて研究発表があった。第4回目は、極低温GHz帯弾性表面波の伝搬特性と低損失フィルタ、超高周波帯における液体の線形・非線形音響特性の同時測定、直線集束ビーム超音波顕微鏡による薄い試料に対する材料評価法、心臓壁微小振動の空間分布の同時計測、音響多層膜を用いた $\lambda/4$ モード圧電薄膜共振子の解析について研究発表があった。第5回目は、音響工学研究会と合同で開催され、人工水晶の弾性関連物理定数の精密測定に向けての予備的検討、液体アルカンの音響特性測定などについて研究発表があった。

いずれも、およそ50名の参加者を得て、活発で有意義な討論が行われた。

情報・数物研究会

情報・数物研究会は、情報科学の問題やスピン系の統計物理学的研究と超伝導やメソスコピック系の問題の物性理論的研究に関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。

本年度は、工学部管理棟316号室において計15回の講演会を開催した。学外から招いた講師および講演題目は次の通りである。Sanjay Puri氏（Jawaharlal Nehru University）：“Some Recent Progress in Phase Separation Kinetics”、高橋 彌穂氏（東北学院大・教養）：“神経細胞の興奮と抑制 —主としてイオンホメオスタシスに果たす抑制性ニューロンの役割—”、椎野 正寿氏（東工大・理）：“連想記憶ニューラルネットワークの統計力学”、川島 直輝氏（都立大・院・理）：“乱れた量子スピン系における Griffiths-McCoy 異常性”、宮下 精二氏（阪大・院・理）：“ボンド縮退がある系での完全にフラストレートした三角格子の相転移”、Lorenzo Bernardi氏（東大物性研）：“Transitions in Fully and Partially Frustrated 3D Ising Simple Cubic Model”、久保木 一浩氏（神戸大・理）：“異方的超伝導体の表面状態とジョセフソン効果”。また学内からは、中島 龍也（院・理）、本田 泰（院・情報）、Rocco QUARTU（院・情報）、三宅 章吾（院・工）、横山 寿敏（院・理）、岩井 俊哉（院・工）、小山 富男（金研）の諸氏にご講演いただいた。2月24日には、和田 靖氏（東北芸術工科大）を招き、“研究のはやりすたり—ソリトンと固体物理—”の題目で講演会を、通研講演会としてを開催した。

インテリジェントマルチメディア電子システム・デバイス研究会

本研究会は、自然界との柔軟なインターフェイス、高速情報通信ネットワークとの超高速インターフェイスを装備したA/V・通信融合形インテリジェントマルチメディア情報処理電子システムの実現を目指し、金属基板SOI、4端子デバイス、バイナリ多値融合演算処理等の新しい原理に基づくデバイス・回路およびシステム技術、ソフトウェア技術、通信技術分野を網羅した研究討論会を開催することにより、各分野の研究者の英知を結集することを目的として1998年度に発足した研究会である。

初年度となる1998年度は、マルチメディアシステムLSI開発の第一線でご活躍の、日本電気シリコンシステム研究所の西谷隆夫氏をお招きし、研究会を尋ねた講演会を開催した。講演では、システムLSI開発の現状と問題点、およびその打開策について発表があった。講演終了後、聴講者を交え、将来のマルチメディアシステムLSIの展望について活発な議論が行われた。

日 時：平成11年2月25日（木）14：00～17：00

会 場：東北大学電気通信研究所1号館N棟、4階N408講堂

講演題目：NECにおけるSystem-On-a-Chipの取り組み

講演者：西谷隆夫 日本電気シリコンシステム研究所 所長代理

6.3 通研講演会

「エキシマレーザーを用いた生体親和性材料の開発」

電送工学研究会 中山 斌義

中山氏講演の概要

KrFエキシマレーザー照射により、アルミナ基板上にハイドロキシアパタイト層を、熱処理や真空系を必要としない簡易な方法によって形成する手法を提案した。ハイドロキシアパタイトは生体親和性材料として知られており、生体と化学的に結合するため人工歯根などの表面に薄膜を形成すれば、生体と強固に密着することができる。本手法は、熱変性の影響が少なく、基板との高い密着性を示し、さらに結晶性に優れたアパタイト層の成膜が可能であることを示唆した。また作製した試料は、生体適合性に優れていることが、擬似生体液を用いた生体外実験の結果明らかになった。

聴覚における定位研究の動向

熊本大学工学部 江端 正直

聴覚系は、両耳への入力の情報処理により、音の到来方向や距離などを知覚・認識することができる。即ち、音像定位である。また、音像定位を行うことにより、妨害音の中から目的音を選択的に聴取することが可能である。この現象は、カクテルパーティー効果の名で知られている。本講演では、カクテルパーティー効果の定量的測定に関する自らの実験結果の紹介に始まり、この実験結果が現在の音像定位に関する研究にどのような影響を及ぼし、どのような研究分野に発展したかが紹介された。また、定位知覚では、音刺激の時間構造が極めて重要であり、時間的に先行する側に定位が生じるという一般的な現象がある。この現象、即ち先行音効果に関して、代表的な実験手法と結果が詳述された。更に、音像定位においては、聴覚末梢系における知覚過程と共に、注意に代表される高次の認知過程が重要な役割を果たしていることが、自らの研究成果に基づいて紹介された。また、注意に関する研究がその後、大きな研究分野に発展していることが、詳細な文献調査に基づいて紹介された。

「プラズマ中のカオスの最近の話題についての研究発表と討論」

九州大学大学院総合理工学研究科 河合 良信

これまでにプラズマ中に生じるカオス現象として、放電系の不安定性に起因する現象や、プラズマシースの非線形性に起因する現象などが実験によって見出されている。これらの系において周期倍加、準周期運動、間欠運動を経てカオスに至るルートが観測されている。しかしながら、これまでにプラズマ中に励起される波動の非線形性に起因するカオスの現象は殆ど報告されていない。

最近、我々は電子ビーム・プラズマ不安定性に起因する周期倍加現象を観測し、系がカオス状態にあることを見出した。また、プラズマ中にイオンビームや電流が存在する場合に励起される不安定性のカオスへの遷移も見出した。さらに、カオスの制御を試み、その制御に成功した。これらの詳細な結果を報告する。

最後に、カオスの発生と境界条件などの拘束条件との関係を議論する。

システム E M C への技術的課題

東京農工大学工学部機械システム工学科 仁田 周一

平成11年3月10日に東北大学工学部において、東京農工大学工学部教授の仁田 周一先生を講師に招いて、標記講演会が行われた。E M C 技術に関連する幅広い分野全般の分析に始まり、とくにノイズイミュニティと回路インピーダンスの関係の研究や、E M I 測定における再現性の問題について、先生の研究成果に基づいて指針を熱く説いていただき、E M I 研究の哲学を学ぶ貴重な機会であった。

E M C テクノロジーの課題は設計技術の研究開発であるが、装置やシステムを扱うシステム E M C は未確立である。仁田先生はイミュニティと系のインピーダンスの関係について、共振状態を作らないことが一般的な指針であると唱えている。E M I 規制への適合性評価の測定では、非再現性の要因を考えなければならない。例えば、コンピュータからの妨害波はCPU外のメモリに対して演算するときには大きくなり、電源コードのインピーダンスも影響が大きい。周期性が無いノイズの測定には、時間的変動も扱えるような新たなEMI評価技術の研究が必要であると指摘された。以上のようにE M I 測定全般の研究について指針の解説があり、熱心な討論が行われた。

グラフの自動描画

群馬大学工学部情報工学科 助教授 中野 眞一

平成11年3月12日に開催された標記講演会の概要は次の通りである。

グラフは、ネットワークやシステムの構成図、組織図、工程図、回路図などを表現したり、抽象的な概念間の関係を表現したり理解したりするために使われる。その際、“適切に” 描画することにより簡潔でより理解しやすいものとなる。ビジュアルな計算機言語、集積回路などの設計支援、ネットワーク管理などでグラフを適切に自動描画する技術が求められ、1990年頃からグラフの自動描画の研究が盛んになってきた。本講演では、これらの研究の最新動向が紹介された。

グラフの自動描画は、辺の交差数・直線性、点の配置法、全体的対称性などに関して“適切さの尺度”を定め、尺度間の優先順位を考慮しつつ最適化する問題として定式化される。最適化手法にはグラフアルゴリズムの手法とモデル的手法がある。インターネットを介して得られるグラフ自動描画システムの特徴と解決すべき課題が紹介され、さらに、平面グラフに関して格子直線描画・直交描画・矩形描画の概要が紹介された。

運動時の呼吸調節メカニズム

豊橋技術科学大学体育・保健センター教授 安田 好文

平成11年1月28日に開催した標記講演会の概要はつぎの通りである。

呼吸系は循環系とともに生命を維持するための最も基本的なシステムのひとつである。特に、運動時の呼吸系の換気量調節は、運動量・代謝量などの呼吸調節系因子および中枢性神経支配などが複雑に絡み合っており、現在までに多くのモデルが提案されているが、呼吸調節メカニズムをうまく説明するモデルは得られていない。本講演では、まず、これまでの呼吸調節メカニズムに関するさまざまな生理学的知見や数学的モデルが紹介された後、フィードバック制御により瞬時の運動負荷量を自由に調節できるエルゴメータを用いることによって初めて明らかになった運動時の酸素摂取量の挙動とこれを説明する生理学的仮説および数学的モデルが紹介された。特に、エルゴメータによるランプ状負荷に対する酸素摂取量の過渡応答は、従来提案されている理論では説明できないが、過運動時の酸素負債の概念を導入することによりうまく説明できる可能性があることが紹介された。

成層圏プラットフォーム

通産省機械技術研究所 恩田昌彦

近年における携帯電話などに代表される無線通信ネットワークに対する需要の急激な増大や、大規模災害時の情報通信の必要性を考えると、通信の中継基地として成層圏に飛翔体を停留させ、これをプラットフォームとする通信ネットワーク体系の構築が大きな可能性として浮かび上がってくる。人工衛星を用いる場合と異なり、ロケットの打ち上げのための莫大なコストやリスクが無く、修理も容易であり、地上との距離も大幅に短縮されるために、通信に用いる地上機のサイズや出力も大幅に小さくすることが可能となる。さらに緯度に関係なく停留が可能であり、地球上のどの地域においても利用可能である。従って、極地におけるオゾンホールを観測や森林の調査などの目的にも最適である。

飛翔体としては、大型化が可能であり、故障時の墜落などの危険性の少ない飛行船を用いるのが望ましい。本講演では、成層圏において飛行可能な船体を開発すべく行った、船体形状及び推進機構の最適化、船体の構造材の開発、飛翔体へのマイクロ波による電力伝送等について述べる。

放射光X線イメージング技術とその応用

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 飯田 厚夫

X線イメージング技術は放射光の利用により実用段階に入っている。本講演ではX線マイクロビームを用いたイメージング技術を中心に、集光光学系技術開発の現状と、そのX線分光（蛍光X線分析、微小領域XAFSなど）およびX線回折法による物質評価への応用例を紹介した。集光光学系は現在着々と進歩しており、現在50 nmのサイズまでX線を集光できる技術が確立している。応用例としては、主に生物・生体の分析、鉱物の分析などが盛んに行われていることが紹介された。物質、材料の不純物の微量分析も行われており、非破壊検査であることから、半導体デバイス材料の分析ばかりでなく、考古学資料の分析にも利用されている。発掘品の微量分析を行うと産地や年代が特定できる。また、最近マスコミをにぎわせた毒物の放射光X線微量分析についても紹介された。

マルチメディア移動体通信の将来動向

京都大学大学院情報学研究所 吉田 進

1. 「最近の情報通信の動向」について：情報伝達のスピードはGb/s から Tb/s へと向かっている、高次情報化・グローバル化に向かって各会社の再編が行われている、ビデオ電話の開発が急ピッチである、地上波放送のデジタル化が進んでいる、等についての解説があった。2. 「移動体通信の現状と将来動向」について：世界各国における携帯電話の使用量の伸び等についての解説の後、今後さらに高信頼度の情報伝送が行うために益々無線化の技術が重要になってくるとの指摘がされた。3. 「移動体通信の技術的課題」について：各種セルラーシステム、IMT-2000、成層圏プラットフォーム、Bluetooth、等の紹介があり、今後のソフトウェア無線についてその概要の解説が行われた。4. 「移動体通信の応用、社会に与える影響」について：移動体通信に関して ITS（高度道路交通システム）等における応用の紹介の後、これまでの情報化は多忙さを加速するのみであったが、今後はコミュニケーションを楽しむ新しいモバイル文化の創造へと繋がらなければならないとの結論で終わった。

血液細胞の磁場配向

—その異方的帯磁率の測定と見積もり—

大阪大学医学部保健学科 東 照正

平成10年7月28日に行われた標記講演概要は、次の通りである。

生の赤血球は1～8 Tの定常磁界内でその円盤面を磁界方向と平行に配向するが、興味深いことに、この配向にはヘモグロビンとは関係ない。配向に寄与するのは、おもに赤血球膜の脂質二重層と貫通タンパク質の反磁性磁気異方性である。これに対して固定した赤血球は、その円盤面を磁界に垂直に配向する。赤血球が固定処理される間に、ヘモグロビンは徐々に酸化されるが、この酸化型(Fe⁺⁺⁺)ヘムは酸性溶液中ではhigh-spin state ($s=2$) の、そしてアルカリ性溶液中ではlow-spin state ($s=0$) の常磁性を示すが、配向の度合いによってはこのヘムの磁気状態の影響を受ける。つまり生の赤血球と違って、固定した赤血球の配向にはヘモグロビンが関係しており、その常磁性が膜成分の反磁性に逆らって、赤血球を逆の方向に配向させていることが強く示唆される。

同じく血液細胞の一つである血小板もその円盤面を磁界方向に平行に配向するが、直径比で赤血球の1/5の大きさにもかかわらず、磁化率は赤血球の1.5倍もある。これは、血小板の主な細胞骨格タンパク質であるマイクロツブルスらの寄与が大きいと考えられる。

絶縁膜／化合物半導体界面準位の評価と制御

NEC基礎研究所 伊藤 仁彦

エレクトロリフレクタンス(ER)法を用いてSiO₂/GaAs界面準位密度(N_{ss})のエネルギー分布と禁制帯中でのフェルミ準位可動範囲を評価した。この方法では、ERスペクトルに現れるFranz-Keldysh振動構造の解析から精密に半導体表面ポテンシャルを決定することができる。本講演では、その原理と測定結果、ER法の有用性を紹介した。原理紹介の後、光起電力効果等、表面ポテンシャル評価の際の誤差要因を徹底的に排除した結果、 N_{ss} はU字型でGaAs禁制帯中央($E_c-0.7\text{eV}$)にその極小点をもつこと、界面フェルミ準位の可動範囲はバンドギャップ中央約0.3～0.45eVの範囲の制限されることを示した。また、半導体表面処理による N_{ss} 分布変化を高精度に検知することにも成功しており、本手法がMESFETを代表とするGaAs系電子デバイスの特性と N_{ss} 形状との関係を議論する上でも、非常に有効な手法であることも示した。

時系列の学習・記憶の計算論

筑波大学 森田 昌彦

情報化社会の肥大化に伴い、情報処理システムの硬直性の顕在化が社会の危機管理と関連し大きな問題となっている。そのために緊急の判断と柔軟な対処を要求する社会的危機管理に資する高次情報処理システム(ブレインコンピュータ)を開発することが望まれている。このブレインアーキテクチャの開発を目指して、平成11年3月16日(火)午後1時30分より東北大学電気通信研究所中会議室において、約30名の出席者を得て通研講演会が行われた。

講演では、神経細胞のモデルとして従来の単調増加かつ飽和特性を持つものから、非単調な入出力特性を持つモデルを導入し、その上で実現できる情報処理機能について述べられた。特に、従来のモデルを用いたニューラルネットワークでは難しいとされる任意の時系列パターンの記憶をこのモデルを導入することで可能に出来ることが示され、その動作原理の定性的な説明がなされた。さらに、生理学的なデータを説明するモデルとしての可能性について述べられ、活発な議論が行なわれた。

Surface Study of Non-c-axis Y-Ba-Cu-O Films Using Photoemission and Scanning Tunneling Spectroscopies

Materials Science Division, Electrotechnical Laboratory Norio TERADA

A development of intrinsic surface-natures over various crystalline planes of high-temperature superconductors (HTS) is essential both for fundamental research and applications of them. We have developed a novel technique using active oxygen beams to the surface cleaning and have applied it to various HTS, which have co-existence of high T_c and almost perfect preferred orientations including non-c-axis ones fabricated by means of temperature gradient self-template method. In-situ characterizations of the cleaned surfaces indicate that the treatment yields a good crystallinity and intrinsic metallic feature at the surface. As a result, various improvements on transport properties, such as low contact resistivity on normal-metal/YBCO interface and high critical current density on proximity-effect Josephson junctions, have been achieved. A positive slope has been observed in the relationship between the critical current density and electron density of states at Fermi level. The treatment also enables to reproducibly obtain tunneling spectra in low temperature scanning tunneling spectroscopy. In most of the spectra taken over the (110) films, so-called zero-bias conductance peak accompanied with superconducting gap structure has been observed, whereas the peak has been mostly absent in the spectra of the (100) and (001) surfaces. These are consistent with dx^2-y^2 pairing in YBCO.

量子計算の実現に向けてーその現状

(株) 三菱電機 先端技術総合研究所 竹内 繁樹

日時：平成10年 8 月10日 14:00～16:00

場所：東北大学電気通信研究所 中会議室

本講演会では、量子力学の原理に基づいた計算機、量子コンピュータの動作原理や、各種アルゴリズム、ハードウェアの実現について紹介していただいた。

量子計算は量子力学の重ね合わせの原理（並列性）を利用をした計算であり、現在の計算機では難しいとされているNP完全問題等への応用が期待されている。本講演では、Deutschの量子計算の提案、Shorの因数分解アルゴリズム等の計算アルゴリズムと、イオントラップ、NMR、シリコン中の核スピン、単一光子等を用いたハードウェアの実現について紹介いただいた。講演者の研究である単一光子を用いた実験を中心にキュビット、量子レジスタ等の実現と、デコヒーレンスの問題について幅広い解説があり、熱心な討論が行われた。

「社会情報システムの実現に向けて」

(株) NTTデータ 星 久光

内容：

社会情報システムの実現とは、個人の多種多様なニーズを尊重する現代社会に適する情報通信システムを構築することである。本特別講演では、講演者自身が入社以来手がけてきた「危険管理防災システム」や「保健・医療・福祉分野の社会情報システム」について、その現状と課題について講述した。まず、危険管理防災では、日本と米国との社会情報システムのインフラストラクチャにより、大事件の発生が内閣総理大臣に正式通知される日本の情報通信システムの構造的課題点などを指摘すると共に、これを解決する他国の情報通信システムの利点・欠点などを紹介した。また、医療・福祉分野として特に「介護分野」について、その現状と将来課題について具体的な事例を取り上げながら解説した。

GaAsエピタキシャル薄膜を用いた 弾性表面波複合機能素子

神奈川工科大学教授 宝川 幸司

弾性表面波（SAW）、特に化合物半導体とSAWとの相互作用を用いたデバイスの研究を手がけておられる宝川氏から、圧電体基板と半導体を接合するエピタキシャルリフトオフ技術について講演があった。

半導体基板にSAWを励振する場合、半導体基板上に圧電体薄膜を成膜する方法が一般的であるが、成膜が可能な圧電体が限定されてしまう。そこで、圧電体基板に半導体を接合するエピタキシャルリフトオフ法が注目されている。エピタキシャルリフトオフ法は、下地基板にMBE法で作製された層構造のGaAs膜等を圧電体結晶にファンデルワールス力で接合し、その部分をエッチングで下地基板から切り離す方法である。これにより、半導体の有する非線形性と高結合圧電体結晶による高効率なSAWの励振、及びSAWの伝搬に伴う強い電界を効率よく利用する構造を得ることが可能になり、HACTデバイスやコンボルバ等への応用が期待されている。興味深い講演であり、講演後、具体的なプロセス条件や今後の発展性について活発な質疑応答があった。

研究のはやりすたりーソリトンと固体物理ー

東北芸術工科大学教授 和田 靖

平成11年2月24日に、東北芸術工科大学教授 和田 靖 先生を講師としてお迎えし、工学部管理棟316号室において標記通研講演会を開催した。講演の内容は表題の通り、先生のこれまでのご研究を通して物理学における研究活動の変遷を概観するというものであったが、それだけに留まらず、未解決の問題やそれらを見直す新しい視点についても言及され、最先端の研究という観点から見ても興味深い内容であった。講演は、先生が長年手がけられた固体物理におけるソリトンに関する研究を中心に進められた。簡潔な導入の後、先生がご研究なされたポリアセチレンにおける電荷ソリトンの話題、特にソリトンのランダムウォークによる拡散速度の大きさに関して、熱ゆらぎの観点から得られたWada-Schriefferの式がどのようにして量子力学的効果を含めて最終的な理解に至ったかが興味深く紹介された。さらに、スピンソリトンやソリトン中心でのフォノンの局在状態の問題にも言及され、量子効果等を新しい観点から議論する可能性についても示唆された。当日は講演中、講演後を通して活発な議論がなされた。

NECに於けるSystem-On-a-Chipの取り組み

日本電気シリコンシステム研究所 西谷 隆夫

最近シリコンシステム研究所が中心となって開発したマルチメディア用の種々のチップを紹介する。その中から、着々とシステムLSI（System-On-a-Chip）の時代が差し迫っているものの、SOC化の活動がなかなか進まない現状を明らかにする。SOI化は、一旦設計が終了すれば半導体製造プロセスによる量産効果で生産量に対するコストを低減できるが、設計にかかる初期コストが大きく、既存LSIをボード上で実装する従来の手法に比べて生産量が少ない内は全体コストが割高となることが最大の要因であることを述べる。如何に初期コストを抑えるかがSOC化の課題であり、カスタマイズする部分を最小化し、プログラマブルなコアを最大限利用することを提案する。また、初期SOCの中核IPコアとして最近話題になっているマルチメディアプロセッサやDSPの意義を論じ、設計検証ツールやソフトとハードの協調設計が重要な課題である事を論ずる。

第7章 予算の概要

本研究所の予算の概要

(千円単位)

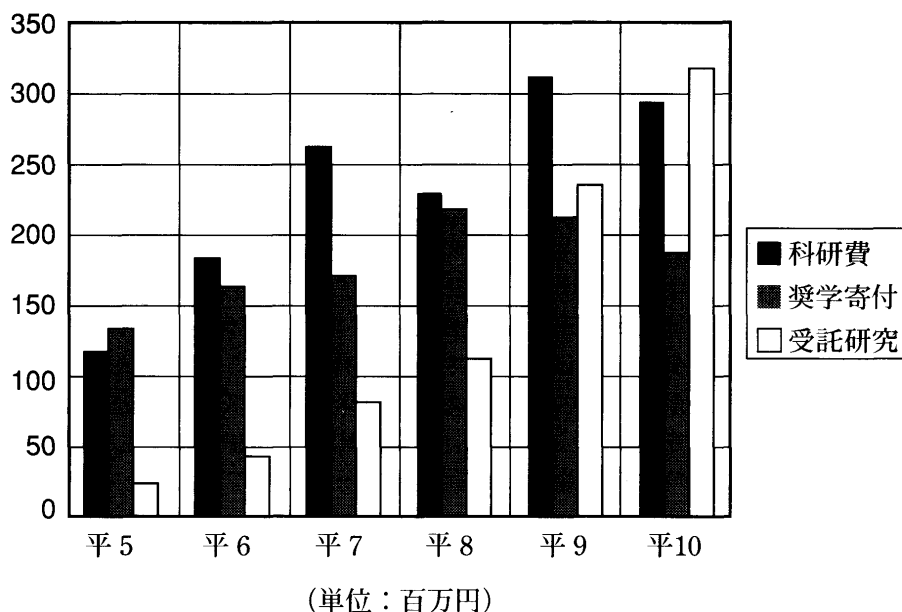
年度 項目	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度
人件費	843,785	856,794	912,365	976,085	1,011,275
物件費	623,659	2,162,356	600,691	588,666	598,407
科研費	183,000	260,300	228,100	309,650	292,000
奨学寄付金	163,667	171,130	215,882	212,258	187,473
受託研究費	41,981	81,549	110,384	233,626	317,814
共同利用研究 施設運営費	26,572	46,317	48,869	49,512	48,975
その他経費	28,213	99,085	16,693	21,928	213,220
計	1,910,877	3,677,531	2,132,984	2,391,725	2,669,164

本研究所の過去5年間の予算は上の表に示したとおりである。

この内容を平成10年度について大まかに分析すると、物件費約6.0億円の中1.9億円が実験施設の維持費、2億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費、1.1億円が営繕費、設備整備費、その他の経費であり、各研究分野で校費として使用した経費は全体で約1億円であった。

研究部門に配分された校費（1億円）に、科学研究費2.9億円、奨学寄付金1.9億円、及び受託研究費3.2億円を加えた総額9億円が直接の研究経費として研究部門で使用された。本年度の直接研究経費に占める校費の割合は約11%であり、前年度とほぼ同額である。平成9年度の直接研究費総額は8.4億円で、本年度は約7.1%（＋6千万）増加したことになる。この増分は科学技術基本法に基づく大型プロジェクトに負うところが多い。

本研究所の研究活動をさらに発展させるために重要なのは科学研究費、奨学寄付金、及び受託研究費であり、研究所の活動の活性度を反映すると考えられる。下に示した過去6年間のグラフに見えるように、これら3種目の予算は継続的に増加の傾向にある。特に平成9、10年度の受託研究の大幅な伸びは提案公募型受託研究の増加（H9.7件 1.69億円、H10.10件 2.70億円）によるところが大であり、本研究所の全国共同利用研究所としての活性度が増していることの証であると考えられる。



科学研究費補助金

研究種目	代表者	平成10年度 交付金額	補助金総額 (千円)	研究課題	採択年度
特定A	坪内 和夫	17,500	147,100	時間情報瞬時処理システム	平7
	大野 英男	6,000	21,200	スピン制御による半導体超構造の新展開	平9
	大野 英男	61,300	133,000	スピン制御された半導体超構造の電子物性と応用	平9
	室田 淳一	1,500	1,500	IV族半導体極微細構造形成プロセスに関する研究	平10
	庭野 道夫	1,400	1,400	赤外反射分光法による半導体電極-溶液界面反応機構の研究	平10
	裴 鐘石	2,700	2,700	金属スリットを用いた光波帯近接場と電子との相互作用	平10
基盤A(2)一般	室田 淳一	5,500	29,800	ラングミュア吸着・反応制御プロセスを駆使して製作するIV族半導体極微細デバイス	平8
	益 一哉	8,300	41,300	Eb/No-BER設計に基づく超低消費電力シリコン集積回路	平8
	横尾 邦義	52,200	27,900	共鳴トンネル電子源の放射電子のエネルギー計測に関する研究	平9
	舩岡富士雄	32,500	39,600	電気的解析手法と構造的解析手法の融合によるシリコン酸化膜の破壊機構に関する研究	平10
	坪内 和夫	2,100	17,700	超LSI多層配線AICVD装置の開発	平8
	中村 慶久	5,300	32,300	垂直ハード磁気ディスク装置を用いる超大容量ストレージシステムの研究	平9
	水野 皓司	11,200	23,100	ミリ波帯イメージング技術の研究開発	平10
基盤B(2)一般	横山 道央	800	7,100	完全自己整合メタライゼーション超高速CMOSの研究	平8
	遠藤 哲郎	500	7,800	超高集積回路に用いられる3次元トランジスタ動作機構の研究	平8
	佐野 雅己	5,700	11,800	散逸大自由度系の二つの実験	平9
	未光 眞希	5,300	14,100	Si上水素の表面化学とエピタキシー制御	平9
	裴 鐘石	3,000	6,700	準光学的共振器を用いたミリ波帯電力合成型固体発振器	平9
	中島 康治	3,300	13,400	ニューロベースダイナミックメモリの構造的な研究	平9
	白鳥 則郎	2,400	11,300	エージェント指向に基づくやわらかいネットワークの研究	平9
	大野 英男	8,300	13,700	低温成長分子線エピタキシにおける化合物半導体の成長過程と成長層の特性	平10
	谷内 哲夫	9,700	16,100	フォトンミキシングによるデジタルイメージ変換の研究	平10
	伊藤 弘昌	7,900	14,100	周波数チャープ光を用いた相関領域分光法の研究	平10
	曾根 敏夫	7,000	11,400	高次臨場感通信のための3次元音空間の知覚過程と制御手法の研究	平10
	長 康雄	5,700	12,460	高分解能走査型非線形誘電率顕微鏡の開発とその強誘電体記録への展開	平9

予算の概要

研究種目	代表者	平成10年度 交付金額	補助金総額 (千円)	研究課題	採択年度
展開	中島 康治	2,700	12,900	新アナログメモリデバイスを用いた連想メモリの試作研究	平9
	舩岡富士夫	3,500	12,100	集積回路に用いられるナノメータ・スケールMOSトランジスタの研究	平9
	白鳥 則郎	2,900	12,300	共感覚メタファーのモデル化と分散システムユーザインターフェースへの応用	平9
	山之内和彦	10,700	13,100	超高結合弾性表面波デバイスと高度情報通信システムへの応用	平10
	遠藤 哲郎	6,900	12,700	3次元MOSデバイスを用いた超高性能3次元集積回路に関する研究	平10
	庭野 道男	8,200	12,100	Siウェーハ表面汚染インライン赤外診断装置の開発研究	平10
基盤C 一般	井上 光輝	700	3,400	光局在化による磁気光学ファラデー効果の巨大エンハンスメントとその応用	平9
	嶋脇 秀隆	1,500	3,400	微小冷陰極の放射電流安定化に関する基礎的研究	平9
	長 康雄	2,500	3,400	走査型電子線誘電率顕微鏡	平10
	鈴木 陽一	1,800	3,200	3次元音空間の動的知覚過程の解明	平10
	花泉 修	1,100	3,200	ファイバ集積型マイクロ光スイッチの作製とメカニズムの解明	平9
萌芽	木下 哲男	700	2,000	知的エージェントを用いた仮想的活動空間に関する基礎的研究	平9
	松浦 孝	1,800	1,800	Si系アモルファス絶縁薄膜の表面構造敏感エッチングと原子制御	平10
奨励A	大野 祐三	1,300	2,500	相互作用のある2層量子ホール系におけるエッジ状態の伝動と局所分光	平9
	遠藤 義晴	800	2,200	リアルタイム光電子分光による半導体表面順位の解析法	平9
	佐藤 尚	600	2,100	積層形偏光分離素子を用いた光ファイバレイ集積型アイソレータの研究	平9
	高根 昭一	1,000	2,400	Kirchhoffの積分公式に基づく新しい音場制御システムの構築に関する研究	平9
	坂本 穰二	1,900	2,400	偏光紫外光照射によるポリイミド膜の表面異方性の制御	平10
	石山 和志	1,200	2,100	マイクロアクチュエータ用磁石薄膜の開発	平10
	小田川裕之	2,100	2,500	KNbO ₃ 単結晶を用いた次世代移動体通信用広帯域低損失SAWフィルタ	平10
	大寺 康雄	1,100	2,100	液晶を用いた多機能平面光回路の研究	平10
	早川 吉弘	1,100	1,900	創作的な思考過程を実現する基礎的モデル・計算原理に関する研究	平10
	大内 則幸	1,200	1,200	非線形開放系における自己組織化と階層化のモデル化	平10
特別研究員奨励費	竹澤 昌晃	800	800	高感度マイクロ磁気センサに関する研究	平10
国際学術研究	川上彰二郎	3,200	5,900	3次元サブミクロン構造フォトニク結晶の実験的理論的研究	平10

研究種目	分担者	平成10年度 交付金額	補助金総額 (千円)	研究課題	採択年度
特定領域研究A	坪内 和夫	3,900	20,300	単電子デバイスの創出とその回路・アーキテクチャの検討	平8

1998年度受託研究費の内訳

(他省庁・県・市町村等公的機関からの受入実績)

機 関 名	研究代表者	受 託 研 究 事 項	受託金額
医療品副作用被害経済・研究振興調査機構	荒井 賢一	生体内で自律動作可能な医用インテリジェント磁気マイクロ・ロボット開発のための総合的基礎研究	49,303,000
中小企業事業団	山口 正洋	超高周波磁性薄膜透磁率測定装置の開発	3,470,000
日本学術振興会	大野 英男	非平衡表面層の原子スケールダイナミクスと新物質の創生	76,232,000
通信・放送機構	川上彰二郎	3次元フォトニック結晶とその回路技術の研究	11,500,000
通信・放送機構	伊藤 弘昌	光波と未開拓電磁波の超高速変換・制御技術の研究	10,500,000
超先端電子技術開発機構	中村 慶久	超高密度記録方式の基礎技術に関する研究	8,001,000
超先端電子技術開発機構	杉田 恒	超高感度磁気ヘッド用磁性薄膜の基礎研究	4,011,000
日本電信電話(株)	室田 淳一	Si-Ge系表面構造の原子レベル制御の研究	1,500,000
科学技術振興事業団	潮田 資勝	STM発光分光法と近接場光学分光法による表面極微細構造の電子物性の研究	7,000,000
科学技術振興事業団	山下 努	銅酸化物超伝導単結晶を用いる超高速集積デバイス	8,000,000
通信・放送機構	室田 淳一	超高速無線通信用SiベースIV族半導体極微細デバイスに関する研究	36,700,000
科学技術振興事業団	井上 光輝	磁性フォトニック・クリスタルの構造と性能に関する基礎的研究	2,500,000
新エネルギー産業技術総合開発機構	坪内 和夫	平成10年度パーソナルワイヤレスタグの開発	64,340,000
(株)インテリジェント・コスモス研究機構	荒井 賢一	超高密度情報ストレージコンポーネント	4,229,400
(株)インテリジェント・コスモス研究機構	伊藤 弘昌	フォトニクスセンシングに関するコンソーシアム研究	3,951,150
科学技術振興事業団	大野 英男	酸化亜鉛薄膜ショットキーダイオード	3,000,000
秋田県高度技術研究所	中村 慶久	電子計算機を利用した高密度磁気記録機構の解析及びその解析手法の応用	3,000,000
金沢工業大学	矢野 雅文	人間と共創する自在コマンドシステムの設計原理とその応用	5,050,000

機 関 名	研究分担者	受 託 研 究 事 項	受託金額
地域コンソーシアム研究開発制度	荒井 賢一	圧電セラミックと磁歪薄膜を複合化したアクチュエータの開発	4,229,400
日本学術振興会	坪内 和夫	新圧電単結晶・薄膜材料の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	13,000,000
日本学術振興会	坪内 和夫	次世代ULSI用薄膜材料とナノスケールプロセスインテグレーション	1,500,000
日本学術振興会	山之内和彦	新圧電単結晶・薄膜材料の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	15,000,000
日本学術振興会	白鳥 則郎	ホロニック光通信網に関する基礎的研究	1,000,000
日本学術振興会	室田 淳一	非平衡表面層の原子スケールダイナミクスと新物質の創生	11,000,000

COE関連研究経費 (1998年度分)

事 項	予 算 額	備 考
中核的研究機関支援プログラム	千円 5 2 , 5 4 1	
研究高度化推進経費	2 0 , 4 0 0	
非常勤研究員経費	1 7 , 8 8 2	5 名分
外国人研究員経費	1 4 , 2 5 9	2 名分
先導的研究設備経費	0	

奨学寄付金の受け入れ

アイシン精機	東京電力
アエラ	戸田工業
ATR知能	東電記念科学技術
アドバンテスト	ニコン
アルプス電気	東北テクノブレインズ
泉科学技術	日本アイ・ビー・エム
(財)石田記念財団	日本ガイシ
インテリジェント・コスモ	日本鋼管
エイコー・エンジニアリング	日本酸素
エッソ石油	日本石油
NEC,ULSIデバイス研究所	日本電気C&C研究所
NECデバイス評価技術研究所	日本電気電子コンポーネント
NEC光・超高周波	日本電波工業
NTT	ニューインスツルメンツ
NTTデータ	ハーモニック・ドライブ・システム
沖電気工業	日立製作所
小野測器	日立金属
カイジョー	日立システム開発研究所
花王	日立製作所ストレージシステム
(財)カシオ科学振興財団	日立製作所日立研究所
(財)加藤科学振興会	日立中央研究所
キャノン	日立電子
クラリオン	日立電線
小糸製作所	日立マクセル
甲千雨	日立メディア
光電製作所	富士通研究所
国際電気	富士通総研
サイエンティア	放送文化基金
(財)サウンド技術振興財団	北部通信
(財)C&C振興財団	本多技研
シャープ	HOYAコンテニウム
ジョイント・ラボ	松下電器産業
情報ストレージ研究推進機構	松下電器部品
昭和電線	(財)丸文研究交流財団
新日本製鉄	三菱化学
(財)住友財団	三菱財団
ソニー	三菱情報技術総合研究所
大興電子通信	三菱電機
(財)高橋産業経済研究財団	三菱電線工業
大宏電機	宮城日本電気
TDK	宮城沖電気
超高速コンピュータ・ネットワーク	村田学術振興財団
(財)電気通信工学振興会	森田化学工業
(財)電気通信普及財団	山下設計
トキメック	ユミデン
トーキン	リオン富士通
東芝	ワイアールピー
東芝研究開発センター	計
	140件
	187,473千円

第8章 受章・受賞

賞 名 等	受賞者氏名	所属分野・部	研究課題名・功績名等
情報処理学会 奨励賞	勝倉 真	情報通信システム研究分野	やわらかいビデオ会議システムにおける n 者間会議サービスの実現法
バーチャルリアリティ学会 大会学術奨励賞	高根 昭一	音響情報システム研究分野	仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイ の理論的解析
シンガポール国立大学 Distinguished Visiting Professor	山下 努	超伝導コンピューティングデバイス 研究分野	
平成10年度日本応用磁気学会 業績賞	中村 慶久	情報記憶システム研究分野	CoCr系高密度磁気記録媒体の先駆的研究
電気学会優秀論文発表賞B	申 光鍋	スピニエレクトロニクス研究分野	FeCoSiBアモルファス高磁歪薄膜の歪感度特性
科学技術庁長官賞 (第24回研究功績賞)	米山 務	電磁波伝送工学研究分野	
電子情報通信学会功績賞	米山 務	電磁波伝送工学研究分野	電子工学及び情報通信に関する学術又は 関連事業に対し特別な功労がありその功績 が顕著な者に送られる
中国日本マイクロ波国際会議 優秀論文賞 CJMW'98賞	米山 務 中條 渉	電磁波伝送工学研究分野	小型・広帯域NRDガイド結合器
英国物理学会 (The Institute of Physics) Kenneth John Button賞	水野 皓司	テラヘルツ工学研究分野	ミリ波・サブミリ波帯アレイ・デバイスに 関する独創的な研究開発
The Ericsson Yong Scientist Award	中村孝一郎	応用量子光学研究分野	周波数シフト帰還型レーザーの発振機構の 解明と光通信網診断への応用
応用物理学会講演奨励賞	中村孝一郎	応用量子光学研究分野	周波数シフト帰還型レーザーによる高い 線形性の周波数チャープ光の発生
丹波記念賞	中村孝一郎	応用量子光学研究分野	周波数シフト帰還型レーザーの動作特性と 新しい光計測への応用の研究
エレクトロニクスレター論文賞	大寺 康夫 川上彰二郎 花泉 修 佐藤 尚	光集積工学研究分野	Si/SiO ₂ 系サブミクロン周期3Dフォトリック 結晶の作製と観察
青葉工学会振興会 第4回研究奨励賞	佐藤 尚	光集積工学研究分野	光機能デバイスの多並列・高密度集積化と 基本部分の研究
電気科学技術奨励賞 (オーム技術賞)	我妻 康夫	フォノンデバイス工学研究分野	弾性表面波機能素子の超高周波化に関する 研究開発
第12回IBM科学賞 エレクトロニクス分野	大野 英男	超高速電子デバイス部	強磁性半導体とそのヘテロ接合に関する 研究
第4回応用物理学会 講演奨励賞	秋葉 教充	超高速電子デバイス部	強磁性半導体GaMnAsを用いた共鳴トンネル 構造の輸送特性

第 9 章 トピックス

相手不在でもスケジュール交渉

秘書はコンピューター

[illegible]

仕事の重要度、納期も判断

[illegible]

「だが、神田中が不意にケジメし、九条公府を召見せし
東大の神田研究部部長、藤岡泰之助、ケジメの理由をヒタヒタと
ヒタヒタと「腐敗」を暴露し、従来のケジメの
ルでは、情勢を流さずにいられなかったが、洋子では、利用材
代わりの既存のソフトウエアの機能をも、知知的ソフトウ
ア「エンジニア」(国産)の機能も動かさず、エンジニア
同志と勢力の力でも動かし、機能も動かさず、動かすこと
を許さず、二回も発表の中止計だ。

代理人ソフト開発

来春販売へ

東北大などの産学チーム

代理人ソフット

東北大学経済学研究科・国際経済学の准教授、ロケット
「が、選手は半信半疑。ジェールは彼を打ち落と
ヒュッパ！と「アッ」（驚き）を飛ばした。彼らの鳴え
ルときは、胸を膨らまして叫ぶが、ただ、喉は、利用さ
れ代わって喉のフツツ子の状態を言う。知的な「エエエ
エエエエ」（得意）の鳴き声もあり、エエエエと
同じ長さの「アッ」を連続、連続と鳴くところ、他は
米鈴や「アッ」の鳴き声の中に、

[illegible]

読売新聞 1998年5月11日掲載



明をするサイエンティアの専社長

IPAの創造的ソフト育成事業

産学協同の開発成果 仙台で日の目

[illegible]

ADIPS 応用の次世代 グループウェアを製品化

[illegible]

鳥渡隆雄は、次世代のソフトウエニテ字を支えるものになる」とり高意は、つづ開説期待を寄せる。

このはく、白鳥啓俊とサイエニテアは、東北大学通信研究所でA/S（人工知能）の成果発表、口頭ロジエックの成果発表、

「このはく、同はくは次世代品を投入し、この分野でのシェアを獲得する狙いだ」。

両子は従来のグループウエニテと違い、サイエニテ機能を持つのが特徴。

電マールの利点など、相手が存在も仕事の

日刊工業新聞 1998年5月15日掲載

人工智能技术呈现新曙光

日本开发成功网络智能体

日本东北大学白鸟则郎教授领导的产学研结合研究小组经过两年时间,耗资近7亿日元,开发成功世界首台计算机空间(Cyber Space)用网络智能体(Agent)及相应的电子秘书。

网络智能体具有自动学习和模拟最终用户的能力。可大量简化最终用户的操作。它能根据用户的简单语音命令等在网络上实现资源(数据库、文件、Web等)搜索、安排日程、管理文件等秘书功能,还具有和通信对方进行协商的访问功能。

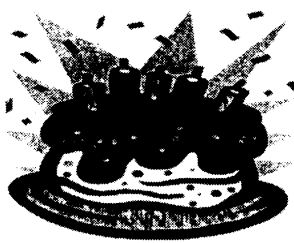
日美有关公司正在对这种新技术进行产品化,并预计于1999年3月同时在日本和美国推出。

随着网络技术和多媒体技术的迅速发展,人工智能技术在网络上的应用也越来越广泛。比较早期的人工智能推理和规则语言等技术和专家系统、知识获取、表现、推理法,但仍未获得大量应用和推理智能技术已走入低谷。

网络智能体技术的出现为人工智能技术的发展带来了新的曙光。首先,人们开始研究网络上的知识搜索和查找, Yahoo 等都是这些研究的结晶。近年来,由于网络上的



发表后,立即在日本产生了强烈反响。京都大学石田亨教授认为,该研究不仅为用户提供了一个很好的智能网络工具,更重要的是把软件开发模式从以系统开发人员为主转向了以用户为主的面向智能体方式,因而具有重要意义。



A9 1998年9月7日

面向最终用户

海、成都和北京举办。■

本报讯 最近,日本东北大学白鸟则郎教授领导的产学研结合研究小组经过两年时间,耗资近7亿日元,开发成功世界首台计算机空间(Cyble Space)用固体(Agent)和相应的网络电子秘

该消息发表后,立即在日本产生强烈反响。京都大学石田亨教授研究不仅为用户提供了一个很好的网络工具,更重要的是把软件开发从以系统开发人员为主转向了以用户的面向智能体方式,因而具有意义。

网络智能体具有自动学习和推理的能力,可大量简化最终用户的工作。智能体根据用户简单语音命令等在网内自行资源(数据库、文件、Web等)进行日程安排、文件管理等,具有秘书功能和通信方式进行协商访问功能。

网络智能技术的出现为人工智能的发展带来了新的曙光。早期技术主要是指路径搜索、知识推

言等技术和方法,后又发展为知识库、专家系统、知识获取、表现、推理方法智能界面等工具和方法,但仍未获得大量应用和推广。一度曾有人认为,人工智能技术已走入低谷。

网络智能技术是面向 21 世纪的技术。近年来,由于网上的 3W 服务器和资源越来越多,人们对网络搜索工具的需求和依赖也越来越大。另外,除了使用搜索工具查找相关资料之外,人们还希望网络界面能进一步向人的方向转化,即能像秘书那样和客户等进行联系和协商、安排日程、处理信件以及安排信息传递时的表现手段等。这除了用到网络和传统的人工智能技术之外,还涉及到脑科学、教育学、心理学等学科。人们把这门新兴的交叉学科称为网络智能技术。

据悉,日美有关公司正在对其进行产品化,并预计于明年3月同时在日本与美国推广。

1998年 9月 7 日揭載

1998年9月7日掲載

Asahi Evening News

Wednesday, February 3, 1999

ASAHI EVENING NEWS OPINION WEDNESDAY, FEBRUARY 3, 1999

第 3 版 読者投稿欄 ☆

POINT OF VIEW/ Norio Shiratori

Debate needed to work out Internet regulations

Special to Asahi Shimbun

The Internet played a role in a criminal case late last year, enabling would-be suicides to obtain poison from a home page on the Net and have it shipped by a home delivery service.

Then, after the turn of the year, there was another criminal case in which a young man, getting in touch with young women via a phone voice-mail service, drugged them and left them to die. He, too, found his drugs on the Internet.

These were dark and saddening cases. As a researcher concerned with the make-up of networks, I found them shocking and thought-provoking. But it would be premature to say just because of those cases that the Net is a dreadful thing.

There are two sides—bright and shadowy sides—to the Internet. The question is how to get along with them.

The real world has laws and policemen. But the virtual world of the Internet, for the present, is a lawless land, with no laws and no policemen.

Is there no way to regulate such dangerous information on the Net?

As it happens, the acceptability of Net information can be checked at two levels—at the transmission level and the user level.

Checking at the transmission level entails reading the substance of messages. This involves the difficulty of deciphering coded information and risks violat-

ing the confidentiality of communications. For these reasons, the idea is hard to implement.

In the United States, the Communications Decency Act that took effect in February 1996 with the aim of regulating "coarse information" on the Internet was ruled illegal by the Federal Supreme Court in June 1997.

As for checking at the user level, providers have drafted regulations on a voluntary basis and secured the consent of home page owners. They must pledge not to interfere in peoples' lives or to behave unethically.

But it is difficult to check all home pages since there are so many of them, and many change their contents daily.

While the idea of imposing legal controls to cope with Net crimes is under study at home and abroad, enlightened self-censorship is the only course that is likely to show effect for now.

Relevant American organizations issued warnings last year against accessing Web sites that demanded exorbitant fees for their service, and about a sharp increase in swindles involving retirement allowances.

In Japan, the National Consumer Information Center last spring released preliminary findings on problems consumers had encountered related to transactions on the Net.

The Internet is certain to become part of the social infrastructure in the 21st century. The following four points

should serve as a yardstick for introducing regulations to make it a system that can be used without fear.

First, the kind of rules that reflect the real world's laws should be established—rules that have stronger hindering power than a code of ethics, enforced by punitive provisions. Because of national borders and cultural barriers, working out such rules is a tough proposition. They will have to be drawn up through a process of starting with matters that are close at hand and going through a repeated process of trial and error.

Secondly, a mechanism for monitoring adherence to the rules should be established. It should be a stronger system for surveillance than the voluntary regulations of providers.

Such surveillance will require the technology to send Internet police some form of "virtual" police officers—patrolling through cyberspace. Under such surveillance, it will become possible to regulate home pages parents want to keep out of the sight of their children. With no regulations in place now, elementary and junior high school children can look at anything.

Thirdly, schoolchildren should be taught information and communications ethics as part of moral education from the early years of elementary school.

It may be a good idea to teach such ethics in the time set aside for "comprehensive study," provided for in the new course of study that the Education Min-

istry proposes to implement after 2002.

It is too late to try teaching such ethics to adults.

Fourthly, appropriate Net counseling offices should be opened to help those who are about to lose themselves to a dangerous degree in the virtual world of the Internet as they try to escape reality. In light of the fact that telephone counseling offices and counselors make themselves helpful in the real world, the establishment of such services on the Net seems essential if only to prevent a recurrence of cases where poison is acquired over the Net.

These ideas are offered mainly with the aim of promoting the introduction of regulations. On the other hand, some enthusiasts believe that the Internet should be kept free of regulations.

What is necessary now is to work for the creation of a forum where representatives of the two schools can explore a better direction in which to move.

For those who live in the real world, the Internet is a convenient instrument that offers a virtual world. The question is how each of us will acquire the wisdom to get along with the bright and shadowy sides of the Net.


How we address this task holds the key to the creation of a healthy information society in the 21st century.

The author is professor of information and communications systems at Tohoku University.

1999年2月3日掲載

1999年2月3日掲載

inSight - 12 February 1999: Rebirth of the Hydra



ACADEMIC PRESS
DAILY
inSight

Posted 11 February 1999, 5 pm PST

Rebirth of the Hydra

The tiny wormlike organism called the hydra* has an amazing trick: A disintegrated individual can reassemble itself. As it does so, it has to sort the cells that belong to its inner layers from those that belong outside. Now scientists have found a way to watch this cell sorting in action. The new technique, reported in the 1 February *Physical Review Letters*, could eventually help scientists track individual cells as they migrate during development.

The hydra's ability to reassemble itself had attracted the interest of Yumi Sasaki, a mathematician at Tohoku University in Sendai, Japan, who studies how complex forms and processes emerge from the interactions of simpler elements. Other researchers had studied the first stage of this self assembly—the sorting of the two types of cells that make up the inner and outer layers of the hydra's tubelike body—under the microscope, but only with the cells sandwiched between glass plates.

Sasaki wanted to see this three-dimensional process as it would occur in nature. He and his colleagues—including Koji Saito, a magnetic resonance (NMR) specialist at the Advanced Technology Research Laboratories of Nippon Steel Corp. in Kawasaki—turned to NMR, which can identify many types of atomic nuclei by their response to variations in applied magnetic fields. But they found that conventional NMR methods couldn't distinguish the inner cells from the outer cells because the two have extremely similar magnetic properties. Instead, the team refined a particular NMR technique called the stimulated echo method. Whereas one or two radio frequency pulses are used to vary the magnetic fields in

typical NMR techniques, the stimulated echo method uses three pulses. This resulted in increased contrast in the response of the different cells, allowing them to be distinguished. This yielded images of the randomly scattered cells arranging themselves on the inner and outer layers of an embryonic hydra.

The timing of these cells fit precisely with what biologists have learned about hydra development through other experimental methods, says James Glazier, a biophysicist at Notre Dame University in South Bend, Indiana. But he says that refinements of the technique could prove extremely valuable for studies of cell migration in developing embryos. "Single-cell imaging (in three dimensions) is a sort of Holy Grail-type quest," says Glazier. "Nobody's been entirely successful at it, but this is an important step in that direction."

—Dennis Normile

* Definitions from the AP Dictionary of Science and Technology

Related Pages on APNet

- *Rebirth of the Hydra: Solving Problems with NMR Spectroscopy*
- *Model: Cell Lineage and Fate Determination*
- *Glazier: NMR in Purification and Biomedicine*
- *Rebirth of the Hydra: NMR Spectroscopy of Biological Systems*
- *Developmental Biology*
- *Experimental Cell Research*
- *Cell Biology: International*
- *Journal of Molecular Evolution*
- *Journal of Structural Biology*

Related links from the article above:

- *Article Abstract*
- *Tohoku University: Sasaki Group*
- *Nippon Steel Corporation*
- *Nippon Steel: Laboratory Complex Systems*
- *Index of NMR*
- *Index in Physics*

1999 The American Association for the Advancement of Science
This issue is supplied by the AAAS Science News Service

[INSIGHT] [More News]

<http://www.academicpress.com/inSight/07111999/inSight.htm>

1999年3月5日掲載

1999年5月25日 火曜日

398307A0.english_abs_docframe

ページ: 1

letters to nature

Nature 398, 307 - 310 (1999) © Macmillan Publishers Ltd.

Evidence against 'ultrahard' thermal turbulence at very high Rayleigh numbers

JAMES A. GLAZIER, TAKEHIKO SEGAWA, ANTOINE NAERT & MASAKI SANO

Several theories predict that a limiting and universal turbulent regime—'ultrahard' turbulence—should occur at large Rayleigh numbers (Ra, the ratio between thermal driving and viscous dissipative forces) in Rayleigh-Bénard thermal convection in a closed, rigid-walled cell. In this regime, viscosity becomes negligible, gravitationally driven buoyant plumes transport the heat and the thermal boundary layer, where the temperature profile is linear, controls the rate of thermal transport. The ultrahard state is predicted to support more efficient thermal transport than 'hard' (fully developed) turbulence: transport efficiency in the ultrahard state grows as $Ra^{1/2}$, as opposed to $Ra^{2/7}$ in the hard state. The detection of a transition to the ultrahard state has been claimed in recent experiments using mercury and gaseous helium. Here we report experiments on Rayleigh-Bénard convection in mercury at high effective Rayleigh numbers, in which we see no evidence of a transition to an ultrahard state. Our results suggest that the limiting state of thermal turbulence at high Rayleigh numbers is ordinary hard turbulence.

Nature © Macmillan Publishers Ltd 1999 Registered No. 785998 England.

nature 25 March 1999

1999年5月25日掲載

世界最小、4Kで動作

東北大 単電子素子を実現

東北大学工学部教授、山田大輔氏が、世界最小の単電子素子（単電子トンネル素子）を開発した。この素子は、4K（273度）で動作し、従来の半導体素子よりも100倍小さい。また、消費電力が極めて低い。この素子は、将来の超小型電子デバイスや、低消費電力デバイスへの応用が期待される。

山田教授は、東北大学の工学部で、単電子素子の開発に取り組んでいる。この素子は、シリコン基板上に、単電子トンネル効果を利用した構造を実現している。従来の半導体素子とは異なり、この素子は、単一の電子を制御して動作する。そのため、非常に小さなサイズで、高精度な動作が可能である。また、消費電力が非常に低いという特徴がある。山田教授は、この素子の開発を通じて、超小型電子デバイスの実現に貢献したいと考えている。

日刊工業新聞
1998年8月21日掲載

電子1個の動き制御

東北大 超電導素子を微細化

東北大学工学部教授、山田大輔氏が、超電導素子の微細化に成功した。この素子は、従来の超電導素子よりも100倍小さい。また、動作温度が4K（273度）で、消費電力が極めて低い。この素子は、将来の超小型電子デバイスや、低消費電力デバイスへの応用が期待される。

山田教授は、東北大学の工学部で、超電導素子の微細化に取り組んでいる。この素子は、シリコン基板上に、超電導材料を用いた構造を実現している。従来の超電導素子とは異なり、この素子は、単一の電子を制御して動作する。そのため、非常に小さなサイズで、高精度な動作が可能である。また、消費電力が非常に低いという特徴がある。山田教授は、この素子の開発を通じて、超小型電子デバイスの実現に貢献したいと考えている。

日経産業新聞
1998年8月21日掲載

高温超電導単結晶で実現

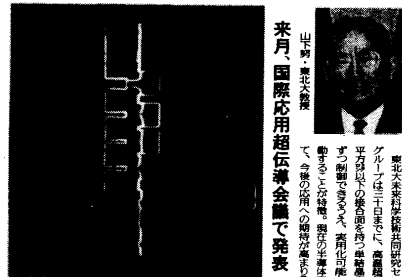
大集積回路用メモリにも道



東北大学工学部教授、山田大輔氏が、高温超電導単結晶を用いた大集積回路用メモリを開発した。このメモリは、従来のメモリよりも100倍小さい。また、動作温度が4K（273度）で、消費電力が極めて低い。このメモリは、将来の超小型電子デバイスや、低消費電力デバイスへの応用が期待される。

山田教授は、東北大学の工学部で、高温超電導単結晶を用いた大集積回路用メモリの開発に取り組んでいる。このメモリは、シリコン基板上に、超電導材料を用いた構造を実現している。従来のメモリとは異なり、このメモリは、単一の電子を制御して動作する。そのため、非常に小さなサイズで、高精度な動作が可能である。また、消費電力が非常に低いという特徴がある。山田教授は、このメモリの開発を通じて、超小型電子デバイスの実現に貢献したいと考えている。

日本工業新聞 1998年8月21日掲載

超微細 単結晶素子を開発
大集積回路など応用に端緒

東北大学工学部教授、山田大輔氏が、超微細単結晶素子を開発した。この素子は、従来の素子よりも100倍小さい。また、動作温度が4K（273度）で、消費電力が極めて低い。この素子は、将来の超小型電子デバイスや、低消費電力デバイスへの応用が期待される。

高速省電力の特質備え
実用化可能な低温で動作

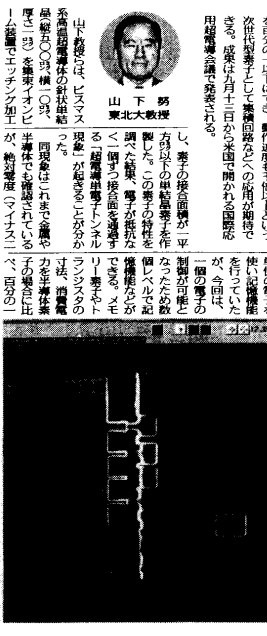
山田教授は、東北大学の工学部で、超微細単結晶素子の開発に取り組んでいる。この素子は、シリコン基板上に、超電導材料を用いた構造を実現している。従来の素子とは異なり、この素子は、単一の電子を制御して動作する。そのため、非常に小さなサイズで、高精度な動作が可能である。また、消費電力が非常に低いという特徴がある。山田教授は、この素子の開発を通じて、超小型電子デバイスの実現に貢献したいと考えている。

読売新聞 1998年8月31日掲載

超電導「常温動作」へ道
単電子トンネル素子開発

東北大研究 グループ 次世代の素子に

東北大学工学部教授、山田大輔氏が、超電導「常温動作」への道を模索している。この素子は、従来の超電導素子よりも100倍小さい。また、動作温度が4K（273度）で、消費電力が極めて低い。この素子は、将来の超小型電子デバイスや、低消費電力デバイスへの応用が期待される。



河北新報 1998年8月21日掲載

超伝導単電子
トンネル素子

科学技術振興機構は、戦略的
科学技術推進事業として平成
成年度に山下秀雄博士が「平
来素子技術共同研究センター
態を研究開発」「超伝導状態
における現象」の研究代表者
として採択し、研究費提供し
てきたが、このほか、山本ケ
ーは超伝導トンネル素子を用
いた電子（二個の電子が対
としてクーパー対）に対して
も二個の電子のうちに働く
もの（の動きを速度関数とし
た）のトンネル素子（電圧）

日本プラスチック 1998年9月5日掲載



日本プラスチックス 1998年9月5日掲載

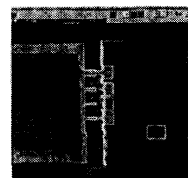
電子1個でメモリー作動
「単電子トンネル素子」
東北大で開発に成功

[illegible]

の素子は高集積化してわ
発熱が少ないため、高演
計算機や超高温度の臨の
検査装置の開発につながる
という。

岡大金属材料研究所の館
田弘毅教授は「電子分野で
評価が低かったヒュスマス
超導材料の評価を顕著な
要な成果だ」と、今後の成
果に期待を寄せている。

【岡大 館田】



超電導単電子トンネル現象が確認された高温超電導酸化物単結晶で作った素子の電子顕微鏡像
＝東北大の研究グループ提供

クロース

アップ

（半導体生誕50周年記念企画連載）
半導体産業外史
「トランジスタ」の半世紀

③ 日米間に起
志村 幸雄（工業調査会社長）

日本の独創開発者たち

[illegible]

写真の「フラッシュ」をイメージ

[illegible]

EEPROMの 改善狙った舐岡

「日本は、半導体技術の面で、世界をリードしている。日本は、半導体技術の面で、世界をリードしている。日本は、半導体技術の面で、世界をリードしている。」

[illegible]

メモリーの開発成果を伝える
『スウィーク』誌（1985年5月）
写真の人物は外岡富士雄氏

共有者といふ点から、従来の比喩と比べ、高麗籍の野馬で、コソト安にうなづけるまじ、情勢の読み出し動作がうまくならぬはあものの、書き出しの動作はよいという利点がある。

これら二選の関連を論点から察せられるように、関連の性質によらず、二選

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

100

Received 12 June 2006; accepted 12 July 2006

每日新聞
8日掲載

1998年9月8日掲載

半導體產業新聞 1998年3月11日掲載

得意技術持ち寄る

得意技術持ち寄る

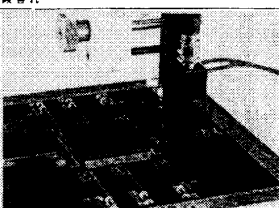
[illegible]

する。
 エレクトロニクスターカ
 ーや本格的な試験設備
 開業主は新築、備
 四百八十万円、年
 台の販売を自排

磁界プローブを実用化

容易になるLSIの 電磁妨害抑制設計

ノロープを實用化し、電機ノブズの隆起の解決を目的として、ロイ・エドワーズとフリス・カズネの共同研究で、電線を導管に封入したものとを考案（「電線導管」）（特許第1071号）（1914年）
（2）ロイ・エドワーズと比較されたリンス・エドワーズが、リンス・エドワーズの技術を、非特許で、電線製造に適用したのを以て、エドワーズはエドワーズ（公同）（1915年）を主張した。（3）エドワーズは、1915年2月14日、エドワーズとエドワーズ、初年度、原告は、一千九百一十五年四月の一分の利益とする請求。



テストボード電源配線パターン上での測定セットアップ例

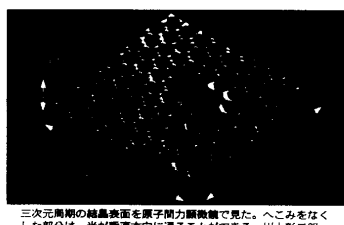
PC板上の磁界を高精度、非接触で測定

[illegible][illegible][illegible]

電波新聞 1998年12月25日掲載

情報の高速処理実現へ前進
人工結晶で光の立体回路

2物質使い 市松構造
周期を乱して通路作る



三、次元階層の人工知能による立体的な光の通路を作ることに、東北大電気通信研究所の川上彰二郎教授のグループが成功し、カナダで開かれた集積光学会議で発表した。現在の電子回路より飛躍的に高速、大量に情報を処理できる光回路への応用が期待される。

した部分は、元が垂直方向に通ることが出来る三川上彰一郎
東北大教授提供

■一次元周期構造



■ 二次元周期構造



川上教
園の中で
スファ
まらない
はずだ
「お」

[illegible]

と話す

光の立
これまで
では思
象がみ
い応用
。

体の方にも出る

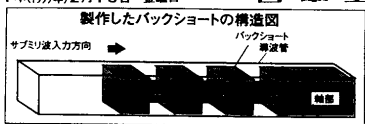
科学

導波管用素子
「バックシヨート」

東北大が量産技術

マイクロマシン[〃]活用[〃]

サブミリ波帯の通信機開発へ

[illegible]

め、実際に通信機などを利用するのが難しいとされている。これに対し、バックシヨートは、導波管（金属の筒）を通してサブミリ波を空中で反射させる壁のような役割を持ち、導波管を通ってきたサブミリ波を効率よく受信する。

バックシートの特長は、イソを両親性により、調整する技術改良を進めることにより、生産現場はこの実用化につなげられそうだ。

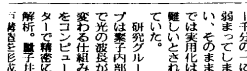
サッパリ成は、価値価値や調整費用遠くで使われるマイクロ波材料。高い周波数である〇〇ギガヘルツの電磁波、最近の電波需要の増大から電波の有効活用として注目されている。

たぐ、空気中の水蒸気は

日本工業新聞 1999年2月19日掲載

朝日新聞 1998年4月20日掲載

【筑波】電通などエレクトロニクスメーカーが組織する技術研究組合・フェムト秒テクノロジ研究機構（茨城県つくば市）は、毎秒一ナノ（一兆分の一）以上の大容量光通信に使える光信号の波長交換素子を開発した。光信号が通る経路を切り替えるス



原子配列のゆがみで実現

がみで実現

[illegible]

る。同庁はインターネットで特許情報を提示しているが、民間のサビス社が、独自に提供するデータベース提供することで利用者の便宜を図り、特許情報の活用を促進する狙い。

特許情報の提供は外国特

2.4 ヘルツガ直接処理

ガ直接処理
消費電力を半減

モデム内の中間周波数帯域の回路が省け、消費電力を半減した。また、送信信号をそのまま処理できるようになった。

[illegible]

東北電通研が協力

[illegible][illegible]

来春市販されるカード型
 簡易モデム④と、モデ
 内で使用される電子部

第 10 章 評価と課題

10.1 発表論文数

区 分	1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	1997年度	合 計
掲載された論文数						
学会誌	1 2 9	1 1 9	1 3 9	1 4 8	1 7 5	7 1 0
国際会議議事録等	1 0 2	9 2	9 1	1 5 5	1 4 0	5 8 0

10.2 修士論文

題 目	著 者	指導教官
電気・通信工学専攻		
触覚葉モデルによる匂いの脳内表現に関する研究	岩崎 進一	矢野教授
視覚の仮現運動におけるグループ化の研究	加來 俊彦	矢野教授
ミリ波車載レーダに用いる斜め偏波平面アンテナの研究	川原 祐紀	米山教授
超伝導テラヘルツ・ミキサーの研究	小林 英介	山下教授
NRDガイドガンダイオード増幅器とその応用に関する研究	佐藤 優	米山教授
視覚の図地分離における空間周波数成分間の相互作用の研究	鈴木 剛	矢野教授
動的な手がかりを用いた不特定話者の子音認識に関する研究	西崎 崇仁	矢野教授
In-Line Liquid Crystal Controllable Wave plate and its Applications (インライン型液晶波長板とその応用)	ヌネス・ルイス・ロメウ	川上教授
逆スロット結合線路を用いた60GHz帯光周波数シフトに関する研究	花坂 達也	米山教授
機能部品の平面光導波路への集積化に関する研究	星野 泰隆	川上教授
HEMTを用いた簡便なNRDガイド発振器に関する研究	森 直之	米山教授
3次元周期ナノ構造の作製と形状制御に関する研究	安田 納章	川上教授
a 軸配向LSCO薄膜の固有ジョセフソン効果に関する研究	山内 成晃	山下教授
BSCCO単結晶の固有ジョセフソン効果に関する研究	山田 望	山下教授
電力システムにおける自律分散制御の研究	山本 勝利	矢野教授
電子工学専攻		
紫外光照射による液晶配向膜表面の分子配向制御	宇佐美清章	潮田教授
周波数シフト帰還型ファイバレーザの研究	吉田 真人	伊藤教授
スペクトラム拡散通信モデムの研究	亀田 卓	坪内教授
応力下での弾性表面波の伝搬特性とその温度特性に関する研究	小谷 謙司	山之内教授
シングルエレクトロン素子の研究	島野 哲	坪内教授

IV族半導体への原子層ドーピングに関する研究	島宗 洋介	室田教授
Stacked-SGT型DRAMセルを用いた3次元高密度DRAMに関する研究	神明 克尚	舩岡教授
IV族半導体の表面改質に関する研究	清野 拓哉	室田教授
有機非線形光学結晶DASTの結晶育成とその電界効果デバイスの研究	相馬 俊一	伊藤教授
Si-Ge-C系エピタキシャル薄膜の形成に関する研究	高塚 俊徳	室田教授
GaAs/AlGaAs量子井戸における超高速スピン緩和に関する研究	寺内 亮太	大野教授
IV族半導体と電極との接合に関する研究	鄧 春 陽	室田教授
高速・低消費電力動作を指向したMulti-Pillar SGTのデバイス設計に関する研究	富永謙一郎	舩岡教授
極低温GHz帯弾性表面波の伝搬特性と低損失フィルタに関する研究	中川 英之	山之内教授
SAWマッパットフィルタを用いたCDMAシステムの研究	元吉 克幸	坪内教授
レーザー励起THz波帯パラメトリック発振器の機能化に関する研究	森川 顕洋	伊藤教授
RFシリコン集積回路の研究	森本 明大	坪内教授

情報基礎科学専攻

ネットワークを用いた研究活動支援に関する研究	勝又 誠	白鳥教授
やわらかいビデオ会議システムにおける適応型インタフェース制御に関する研究	阿部 文武	白鳥教授
ユーザインタフェース設計におけるインタラクション仕様分析手法に関する研究	石山啓太郎	白鳥教授
やわらかい非同期メッセージングシステムに関する研究	北形 元	白鳥教授
やわらかいアプリケーションゲートウェイの構成に関する研究	羽賀 太	白鳥教授
人間-エージェント共生空間におけるドメインオントロジーの蓄積と利用に関する研究	福田 和博	白鳥教授
タスク指向ユーザインタフェースアーキテクチャの設計支援環境に関する研究	伊澤 謙一	白鳥教授
携帯端末によるコミュニケーション支援環境に関する研究	蝦名 哲	白鳥教授
ユーザの個性情報に基づく画像データベース検索システム	柯 栄	白鳥教授
ユーザ入力の継続的検査に基づく認証システムに関する研究	高井 英樹	白鳥教授
分散環境グループ学習の支援システムに関する研究	宮本 俊光	白鳥教授

システム情報科学専攻

ランダム正負の散逸を取るLangevin系の統計的性質	佐藤 彰洋	沢田教授
視覚および言語情報が環境音知覚に及ぼす影響の研究	安倍 幸治	曾根教授
究極乱流の構造に関する研究	阿部 真	沢田教授
ニューラルネットワークによる時空間情報の記憶に関する研究	石田 文彦	沢田教授
培養神経細胞のネットワーク形成と同期発火現象に関する研究	川上 隆央	沢田教授
超大容量垂直磁気ストレージ装置の設計法の研究	佐々木 保	中村教授
時系列情報連想記憶システムの集積化に関する研究	佐藤 厚志	中島教授
ラウドネス補償型補聴器における動作パラメータの最適化	島田 英正	曾根教授
時間領域表現に基づく聴覚系モデルに関する基礎的研究	菅井 一郎	曾根教授
神経回路網における時系列の内部表現に関する基礎研究	相馬 洋之	沢田教授
垂直磁気ストレージメディアの高S/N比化の研究	パウフィ・スリステイ	中村教授
音像定位における頭部運動の影響に関する基礎的研究	彭 泰 璟	曾根教授
単語了解度に基づく難聴者の聴力測定手法の研究	山口 崇徳	曾根教授

10.3 博士論文

題 目	著 者	指導教官
電気・通信工学専攻		
液晶による偏波制御素子及び制御方法に関する研究	千葉 貴史	川上教授
磁気弾性効果を用いたマイクロセンサシステムとその応用	申 光鎬	荒井教授
導波路インライン型液晶応用デバイスに関する研究	依田 秀彦	川上教授
昆虫型歩行ロボットの自律分散システムとしての最適制御の研究	秋元 一志	矢野教授
大域整合性条件による両眼立体視の研究	佐藤 直行	矢野教授
マイクロ磁気センサに関する研究	竹澤 昌晃	荒井教授
単結晶薄膜によるトンネル陰極の形成に関する研究	根尾陽一郎	横尾教授
ミリ波・高速薄膜伝送線路の基本特性と応用に関する研究	昆野 舜夫	米山教授
電子工学専攻		
1.3 μ m帯光ファイバ増幅器／レーザに関する研究	一色 邦彦	伊藤教授
Electromigration Mechanisms of VLSI Multilevel Interconnects (VLSI多層配線のエレクトロマイグレーションメカニズムに関する研究)	河崎 尚夫	坪内教授
CMOS光通信用ICの高速化に関する研究	田邊 昭	舩岡教授
化合物半導体の表面・界面制御に関する研究	庄子 大生	庭野教授
Si系ガスソースMBEに関する研究	中澤日出樹	舩岡教授
光スペクトル領域干渉を用いた反射計測法とその応用の研究	船場 忠幸	伊藤教授
サブミリ波の変調に関する研究	南出 泰亜	水野教授
光通信用半導体レーザの電流閉じ込め構造に関する研究	西 洋	伊藤教授
広帯域弾性表面波フィルタとその実用化に関する研究	谷津田博美	山之内教授
アナログ光通信用半導体レーザに関する研究	渡辺 斉	伊藤教授
超高周波コヒーレント電力合成法の研究	藤井 哲	水野教授
情報基礎科学専攻		
ビデオ会議システムにおけるやわらかい協調プロトコルに関する研究	唐橋 拓史	白鳥教授
Adaptive Information Searching on Internet Based on User Personal Information (ユーザの個人情報に基づいたインターネットにおける適応型情報検索)	カガシモエロベルトサグアキ	白鳥教授
A Study on Education Support Environment for LOTOS (LOTOSの教育支援環境に関する研究)	朴 炳 昊	白鳥教授
システム情報科学専攻		
ニューラルネットによるゲーム解答能力の研究	佐々木宣介	沢田教授
音像の距離定位に関する研究	金 海 永	曾根教授
ファジィ制御を用いた適応アルゴリズムの高速化に関する研究	武藤 憲司	曾根教授

特別研究員・大学院生の受入状況

区 分	1994年度	1995年度	1996年度	1997年度	1998年度	合 計
特別研究員の受入状況	6	11	7	5	14	43
大学院生の受入状況	205	193	201	201	200	1000

10.4 現在の課題

行財政改革の方向から不必要なものはできるだけ無くそうという当然の発想から「大学附置研究所の存在意義はあるのか」という厳しい質問を社会から突き付けられていて、それにたいして附置研究所のひとりよがりの論理では無く、大学全体にとって、しかしまたまた大学のひとりよがりの論理では無く、結局社会にとって必要であるか否かが問われている。

昨年末の外部評価委員会の報告の中から全体的運営に対する問題点として指摘されている点を要約すると次のようになる。これらの指摘事項を真摯に受け止め各項目に対して、長期計画委員会、研究企画委員会、予算委員会、共同利用委員会、部門主任とともに速やかにフォローアップしなければならないと考える。

(人事) より計画的な人事を積極的に進めることが望まれる。

(予算) RAの単価・総額の増額を要求し実現すべし。

(共同利用研究所) 共同プロジェクト研究予算の増額を要求するとともに、重点的な配分も検討に値する。

(COE研究所) COE研究所としてより国際的に認知されるためには予算の抜本的増額が必要である。外国人研究員の募集や運営を含めてより有効な運営方法を模索すべし。

(産学関係) 今日的あるいは近未来的な研究とリスクの多い研究を、産業界とのより密接な推進するための行動規範を明らかにすべし。

(研究部門) ブレインコンピューティング研究部門はシステム・ソフトの研究を充実すべきである。脳情報工学研究センターの設立時にはシステム・ハード・ソフト研究の構成比を再検討すべし。

物性機能デバイス研究部門は研究室が狭隘であり安全上の問題がある。

コヒーレントウェーブ工学研究部門は現在の情報通信技術からの移行についてのシナリオを考えるべし。他部門との協力も含めてシステム関係の研究を強化すべし。

教官の最終学歴（大学または大学院等）

最 終 学 歴	教 授	助教授	講 師	助 手	計
東北大学	9	9		3 0	4 8
ペンシルバニア大学	2				2
東京大学	3	3		3	9
北海道大学	1			1	2
名古屋大学	1				1
九州大学	1				1
東京工業大学		1		1	2
大阪府立大学		1			1
日本大学		1			1
朝鮮大学		1			1
静岡大学		1			1
福井大学				1	1
長岡技術科学大学		1			1
東北学院大学				1	1
仙台電波高校				2	2
ポーランド科学アカデミー物理学研究所	1				1
千葉工業大学				1	1
東京農業大学				1	1
フランクフルトヨハンゲーテ大学				1	1
モスクワ物理科学研究所				1	1
仙台工業高校				1	1
合 計	1 8	1 8	0	4 4	8 0

第 11 章 運営協議会報告

運営協議会報告

第8回東北大学電気通信研究所運営協議会（平成10年7月31日）

出席者：植之原道行（委員長） NECリサーチインスティテュートInc.会長
 甘利 俊一（委員） 理化学研究所脳科学総合研究センター
 情報創成システム研究チームディレクター
 梶村 皓二（委員） 通産省工業技術院電子技術総合研究所長
 中村 道治（委員） 株式会社日立製作所中央研究所長
 山田 敏之（委員） 学校法人ソニー学園理事
 廣田 榮治（委員） 総合研究大学院大学長
 池上 徹彦（委員） 会津大学副学長
 相磯 秀夫（委員） 慶応義塾大学大学院政策・メディア研究科委員長
 大須賀節雄（委員） 早稲田大学理工学部情報学科教授
 四ッ柳隆夫（委員） 東北大学大学院工学研究科長
 国分 振（委員） 東北大学大学院情報科学研究科長
 藤森 啓安（委員） 東北大学金属材料研究所長
 田中 通義（委員） 東北大学科学計測研究所長
 根元 義章（委員） 東北大学大型計算機センター長
 佐藤 徳芳（委員） 東北大学工学研究科教授
 伊藤 貴康（委員） 東北大学情報科学研究科教授
 米山 務（委員） 東北大学電気通信研究所教授

陪席者：沢田 康次 東北大学電気通信研究所長
 横尾 邦義 東北大学電気通信研究所総務委員会委員長
 白鳥 則郎 東北大学電気通信研究所共同利用委員会委員長、予算・環境委員会委員
 大野 英男 東北大学電気通信研究所研究企画調整委員会委員長
 矢野 雅文 東北大学電気通信研究所教授
 荒井 賢一 東北大学電気通信研究所教授
 山之内和彦 東北大学電気通信研究所教授
 室田 淳一 東北大学電気通信研究所教授

主たる指摘事項

- ・通研重点推進研究は何が重点なのかを公募してから決めるのか、前から決めておくのか。
- ・外部評価には論文数では無く、附置研究所としての成果があるかどうかを入れたい。
- ・一般的に教育の外部評価は比較的やりやすいが、教育の評価は難しい。教育はどうあるべきかを大学はもっと検討すべきである。
- ・附置研究所の在り方を議論してそれに照らし評価しないと難しい。
- ・これからは日本のトップレベルをどう伸ばすかと云う議論になるが、通研は日本の中ではトップレベルだと思っから世界のトップレベルに比べてどうかという議論をした方が実りが多い。
- ・それは違う。大学でやっていることは企業のほうがトップレベルに多いと云うことも考えておかねばならない。
- ・欧米の大学は日本の企業から学び取ろうとするが、日本の大学はトップと云えどもそのようなグローバル化が遅れている。
- ・通研は電気情報系研究科と期限を切った人事交流をすべし。
- ・国立の研究所や企業の研究所はリスクを避けるが、大学の研究所はハイリスクであって新しい芽を見つける

けていくような萌芽的研究を模索する点にある。

- ・大学は文部省に対しても主張すべきことは責任を持って主張するべきである。

第9回東北大学電気通信研究所運営協議会（平成11年3月5日）

出席者：植之原道行（委員長） NECリサーチインスティテュートInc.会長

古濱 洋治（委員）	郵政省通信総合研究所長
梶村 皓二（委員）	通産省工業技術院電子技術総合研究所長
中村 道治（委員）	株式会社日立製作所中央研究所長
廣田 榮治（委員）	総合研究大学院大学長
池上 徹彦（委員）	会津大学副学長
山田 敏之（委員）	学校法人ソニー学園理事
池上 英雄（委員）	核融合科学研究所名誉教授
荻野 博（委員）	東北大学大学院理学研究科長
田中 通義（委員）	東北大学科学計測研究所長
根元 義章（委員）	東北大学大型計算機センター長
佐藤 徳芳（委員）	東北大学工学研究科教授
伊藤 貴康（委員）	東北大学情報科学研究科教授
米山 務（委員）	東北大学電気通信研究所教授

陪席者：沢田 康次	東北大学電気通信研究所長
曾根 敏夫	東北大学電気通信研究所教授評議員
水野 皓司	東北大学電気通信研究所附属超高密度・高速知能システム実験施設長
横尾 邦義	東北大学電気通信研究所総務委員会委員長
川上彰二郎	東北大学電気通信研究所教授
潮田 資勝	東北大学電気通信研究所教授
白鳥 則郎	東北大学電気通信研究所教授
中村 慶久	東北大学電気通信研究所教授

主たる指摘事項

- ・国研はとにかくにも研究のプロであるが、附置研究所は何か中途半端で研究のプロであるようであるけれどもどうもそれを一生懸命やっているようには見えない。
- ・研究所のあり方について、モデルケースを分析して必要なものを取り入れるべきである。
- ・高らかにやりたいビジョンなり実績を宣言して周りを納得させる必要がある。
- ・国際的に開かれているのが大学の特徴である。また学問の顕彰と新しい学問の創造という将来の国際社会に貢献するための大変大きな責任を大学に任されている。これだけ日本が国際的な責任を持った立場になるとそのミッションを高く掲げなければならない時代である。
- ・独立行政法人化などの行政改革の動きに対して通研のような研究所が率先して問題点を明らかにし、改革の方向を示すべきである。
- ・独立行政法人化は学術的研究に馴染まないのではないか。
- ・独立行政法人化に対して保身的な立場から反対するのは逆効果で正当論でやってほしい。
- ・きちっとした議論をした上でそれを政府に持っていくチャンネルが必要である。

付録 構成員

(平成11年2月1日現在)

所長(併)・教授 沢田康次

研究部門

ブレインコンピューティング研究部門

■コンピューティング情報理論研究分野

教授 曾根敏夫
 〃(兼) 丸岡章
 〃(〃) 阿曾弘具

■情報通信システム研究分野

教授 白鳥則郎
 〃(兼) 伊藤貴康
 〃(〃) 根元義章
 助教授 木下哲男
 〃(兼) 斎藤浩海
 〃 加藤寧
 助手 石垣久四郎
 〃 菅沼拓夫
 〃 杉浦茂樹
 技術補佐員 大塚紀子
 事務補佐員 工藤裕子

■情報記憶システム研究分野

教授 中村慶久
 〃(兼) 樋口龍雄
 助教授(兼) 青木孝文
 助手 山田洋
 COE外国人研究員 グリープス・サイモン・ジョン

■音響情報システム研究分野

教授(兼) 曾根敏夫
 〃 牧野正三
 助教授 鈴木陽一
 〃(兼) 曾根秀昭
 〃(〃) 金井浩
 助手 陳国躍
 〃 高根昭一
 技官 斎藤文孝子
 事務補佐員 八代幸子

■生体コンピューティングシステム研究分野

教授 矢野雅文
 〃(兼) 堀口剛
 助教授(〃) 福井芳彦
 助手 牧野悌也
 助手 坂本一寛
 中核的研究機関研究員 鈴木章夫
 技術補佐員 遠藤千春

■ブレインコンピューティングシステム研究分野

教授 沢田康次
 教授(兼) 阿部健一
 助教授 佐野雅己
 〃(兼) 吉澤誠
 〃(〃) 郭海蛟
 講師(〃) 藤木澄義
 助手 早川美德
 〃 早川吉弘
 学振特別研究員(PD) 大内則幸
 〃 A. ナヤト
 学振特別研究員(DC) 伊藤真子
 事務補佐員 中井直子

■超伝導コンピューティングデバイス研究分野

教授(兼) 山下努
 〃 平井敏雄
 助教授 中島健介
 〃 陳健
 〃(兼) 鈴木光政
 助手 菅井徳行
 〃 水柿義直
 〃 B. パブレンコ
 中核的研究機関研究員 金相宰
 COE外国人研究員 S. サフランジェック
 技官 土田貞夫
 事務補佐員 川嶋朝子

■マルチモーダルコンピューティング研究分野

(客員)

客員助教授 ラティシェフ・ユーリー

物性機能デバイス研究部門

■固体電子工学研究分野

教授	舩岡 富士雄
〃 (兼)	江刺 正喜
助教授	遠藤 哲郎
助手	桜庭 弘
〃	マルクス・レンスキ
学振特別研究員(DC)	築館 巖和
技官	酒井 俊章
技術補佐員	鹿野 春子
事務補佐員	鈴木 敦子

■分子電子工学研究分野

教授	トーマス・ディーテル
教授 (兼)	沢田 康次
〃	佐藤 繁
助教授	末光 眞希
助手	遠田 義晴

■スピントロニクス研究分野

教授	荒井 賢一
〃 (兼)	高橋 研
〃 (〃)	一ノ倉 理
〃 (〃)	松木 英敏
〃 (〃)	島本 進
助教授	山口 正洋
〃	井上 光輝
〃 (兼)	竹内 伸直
〃 (〃)	荘司 弘樹
助手	石山 和志
〃	藪上 信
学振特別研究員(DC)	竹澤 昌晃
技官	師岡 ケイ子
〃	我妻 成人
事務補佐員	山城 秋乃

■プラズマ電子工学研究分野

教授	山之内 和彦
〃 (兼)	山本 光璋
助教授	蝦名 惇子
〃 (兼)	中尾 光之
〃 (〃)	飯塚 哲晃
〃 (〃)	安藤 晃

■情報記録デバイス工学研究分野

教授	杉田 恒夫
〃 (兼)	西関 隆夫
助教授	村岡 裕明

助教授 (兼)	中野 眞一
講師 (兼)	周 暁
助手	島津 武二
〃	渡邊 功子
事務補佐員	森 優子

■光電変換デバイス工学研究分野

教授	潮田 資勝
〃 (兼)	海老澤 丕道
助教授	上原 洋一
講師 (兼)	阿部 光衛
助手	坂本 謙二
〃	鶴岡 徹之
中核の研究機関研究員	岩見 正之

■電子量子デバイス工学研究分野

教授	庭野 道夫
〃 (兼)	佐藤 徳芳

■複合機能材料研究分野 (客員)

教授 (併)	押山 淳
--------	------

コヒーレントウェーブ工学研究部門

■電磁波伝送工学研究分野

教授	米山 務
〃 (兼)	澤谷 邦男
〃 (〃)	塩川 孝泰
助教授	中條 渉
助手	佐藤 弘康
中核の研究機関研究員	石 芸尉
技官	我妻 壽彦
事務補佐員	新田 淑子

■極限能動デバイス研究分野

教授	横尾 邦義
〃 (兼)	内田 龍男
〃 (〃)	畠山 力三
助教授	三村 秀典
〃 (兼)	大沼 俊朗
〃 (兼)	宮下 哲哉
助手	佐藤 信之
〃	嶋脇 秀隆
技官	寒河江 克巳
事務補佐員	多賀谷 宏子

■テラヘルツ工学研究分野

教授	水野 皓司
----	-------

教授(兼) 犬竹正明
 助教授 斐 鐘石
 助手 荒木実
 〃 濱野哲子
 事務補佐員 笹谷いづみ

■応用量子光学研究分野

教授 伊藤弘昌
 〃(兼) 星宮望
 助教授 谷内哲夫
 〃(兼) 二見亮弘
 助手 中村孝一郎
 〃 四方潤一
 技官 今野勇治
 〃 田久長一
 事務補佐員 津田亜紀子

■光集積工学研究分野

教授 川上彰二郎
 〃(兼) 宮城光信
 助教授(〃) 馬場一隆
 〃(〃) 松浦祐司
 〃(〃) 花泉修
 助手 佐藤尚夫
 〃 大寺康夫
 〃 千葉貴史
 学振特別研究員(DC) 川島貴之
 技官 相澤芳三
 事務補佐員 菅田亜貴子

■フォノンデバイス工学研究分野

教授(兼) 山之内和彦
 〃(兼) 中村僖良
 助教授(兼) 長康雄
 〃(兼) 山田顕
 講師(〃) 田中治雄
 〃 小田川裕之
 技官 我妻康夫
 事務補佐員 野邊貴子

■電子音響集積工学研究分野

教授 坪内和夫
 〃(兼) 櫛引淳一
 助教授 益一哉
 助手 横山道央
 〃 松橋秀樹
 事務補佐員 寺澤久美子
 〃 渡部晃子

■量子波動工学研究分野(客員)

客員教授 永沼充

附属研究施設

超高密度・高速知能システム実験施設

施設長(併) 水野皓司
 教授
 事務補佐員 中村純子

■共通部

助手 目黒敏靖

■原子制御プロセス部

教授 室田淳一
 〃(兼) 亀山充隆
 助教授 松浦孝弘
 〃(兼) 羽生貴弘
 助手 櫻庭政夫
 学振特別研究員(DC) 渡辺健
 学振特別研究員(DC) 山本裕司
 技術補佐員 高橋裕美子
 事務補佐員 松野慶子

■超高速電子デバイス部

教授 大野英男
 〃(兼) 大見忠弘
 助手 松倉文礼
 〃 大野裕三
 学振特別研究員(DC) 岸本修也
 リサーチアリエイト 安田晴行
 〃 王善力
 技術補佐員 中目映子
 事務補佐員 佐々木延子

■知能集積システム部

教授 中島康治
 〃(兼) 川又政征
 助手 佐藤茂雄
 中核的研究機関研究員 小野美武
 事務補佐員 鬼柳貴美子

附属施設

■評価・分析センター

センター長(兼) 荒 井 賢 一
 教 授
 教 授(兼) 庭 野 道 夫
 技 官(兼) 赤 間 洋 助
 技術補佐員 千 葉 綾 子

技 官
 〃
 〃
 〃
 〃

渡 邊 博 志
 米 澤 隆 二
 菅 原 宗 朋
 庄 子 康 一
 末 永 保

■附属工場

工場長(兼) 横 尾 邦 義
 教 授
 技 官 高 橋 吉 昭

事 務 部

事務部長 荒 井 完
 総務課長 天 内 正 光
 庶務掛長(主査) 岩 渕 武
 主 任 津 村 宜 邦
 事務官 永 沼 ひろみ
 事務補佐員 小 岩 澄 子
 〃 寺 島 弘 美
 〃 渡 邊 奈 央
 共同利用掛長 上 山 成 美
 主 任 伊 藤 恵 美子
 図書掛長 千 葉 龍 郎
 事務官 山 本 衆 子
 技術補佐員 阿 部 敦 子

経理課長 本 郷 宣 夫
 経理掛長 志 子 田 勇 雄
 主 任 佐 藤 利 信
 事務官 長 岡 幸 司
 事務補佐員 青 山 美 弥子
 〃 沓 澤 倫 子
 用度掛長 荒 川 繁
 主 任 三 浦 潤 一
 事務官 鈴 木 吉 崇
 事務補佐員 川 北 久 美子
 〃 角 田 郁 子
 〃 白 鳥 千 亜紀
 臨時用務員 渡 辺 き 子